# فصول فى الخزف

## الجزء الثانى

أ.د. تهانى العادلى
أستاذ الخزف
بكلية الفنون التطبيقية
جامعة حلوان

القاهرة
٢٠٠١

بسم الله الرحمن الرحيم

# تقديــــــــم

## فصول فى الخزف

هذا الكتاب يجمع فصول عن الخزف (مراحل تشغيله وإنتاجه – مواصفاته – نوعياته – وغيره) كتبت أجزاءه على فترات منذ سنوات ماضية وأهتمت المؤلفة أن تجمعها فى طبعة ثانية فى جزئين ليستفيد منها الدارس أو المهتم بهذا المجال، وحيث ندرة المراجع العربية فى مجال الفنون عامة والخزف خاصة، لذا كانت الأهمية فى إيجاد أوراق فى مجال الخزف من خلال الدراسات والتجارب المختلفة فى هذا المجال..

ونود أن نوضح أن ما يشمله الكتاب بجزئية هو بعض من كثير من المعلومات التى لا حصر لها فى مجال الخزفيات تحاول المؤلفة جاهدة أن تجمع أهم المعلومات فى صورة مبسطة واضحة ليمكن الإستفادة منها فى المجال العلمى فى الخزفيات.

**يحتوى الجزء الأول على فصول:**

تعريف ونشأة الطينات والخامات فى الطبيعة- طرق تشكيل وأساليب إنتاج – أدوات وماكينات الخزف – الجبس – أجسام خزفية وطلاءات زجاجية – أسباب التشقق والشروخ فى الأجسام الخزفية – خواص ومواصفات.

**ويحتوى الجزء الثانى على فصول:**

الخزف الحجرى – الحراريات – الطوب الطفلى.

# محتـويـات

## فصـول فى الخـزف

### الجزء الثانى

| | صفحـة |
|---|---|
| الفصـل الأول | |
| الخـزف الحجـرى | ١ |
| الفصـــل الثـانى | |
| الحـراريــات | ٧٧ |
| الفصل الثـالث | |
| الطـوب الطفـلى | ١٥٧ |

# الفصل الأول

# الخزف الحجري

## المحتـويـات

صفحة


مقـدمـــة ١

الخزف الحجرى ٢

أنواع الخزف الحجرى ٥

أنواع الخامات المستخدمة فى إنتاج الخزف الحجرى ٥

الإستخدامات المتنوعة لمنتجات الخزف الحجرى ٨

منتجات الخزف الحجرى الخشن ٨

١-أنابيب مغطاه بطلاء ملحى-٢-بلاط أرضية-٣-خزف حجرى كيميائى ٨

٤-قدورحفظ المأكولات ١٠

منتجات الخزف الحجرى الراقى ١٠

١- أوانى المائدة - ٢- أوانى المطبخ من الخزف الحجرى ١٠

٣- أوانى فنية -٤ - أدوات خزف حجرى كهربائى ١١

٥- أدوات صحية من الخزف الحجرى ١١

بداية وتطور الخزف الحجرى فى العالم ١٢

أولا الشرق الأقصى ١٤

أ- الصـين ١٤

الأسرة الحاكمة هـان - تـانج ١٥

الأسرة الحاكمة سنج ١٧

الأسرة الحاكمة مينـج - تشنـج ١٨

ب- كـوريـا ٢١

الأسرة الحاكمة سيلا- كـوريـو - يى ٢١

جـ- الهنـد الصينية ٢١

د- اليـابـان ٢٢

فترة سـيو - هيـان - إيـدو ٢٢

تابع:المحتويات

صفحة

| | |
|---|---|
| الخزف الحجرى الحديث باليابان | ٢٣ |
| شوجى هامادا- توميموتو - هاجيم كاتو | ٢٣ |
| ثانيا : أوروبا | ٢٥ |
| أ- ألمانيا | ٢٥ |
| كولون - فريخن - إيجلشتن | ٢٥ |
| سيجبرج - رارين - فيسترفالد | ٢٦ |
| الخزف الحجرى الحديث فى ألمانيا | ٣٠ |
| جوهان فريدريك بوتجر - هيرمان موتز | ٣٠ |
| ب- فرنسا | ٣٠ |
| الخزف الحجرى الحديث فى فرنسا | ٣١ |
| إرنست تشابلت-أوجست ديلارش-إيميل لينوبل-إيميل ديكور | ٣١ |
| جـ- إنجلترا | ٣١ |
| بعض خصائص أوانى ودجوود من البازلت و الجاسبر | ٣٥ |
| الخزف الحجرى الحديث بإنجلترا | ٣٦ |
| برنارد ليتش | ٣٦ |
| ستيت مورى - لوسى راى - دافيد ليتش- راى فينش | ٣٧ |
| كولين بيرسون - مايكل كاسون - ريتشارد باترهام | ٣٧ |
| د- دول إسكندنافيا | ٤٢ |
| الدنمارك - السويد -النرويج -فنلندا | ٤٢ |
| ثالثا : أمريكا | ٤٣ |
| رابعا : الشرق الأدنى و مصر | ٤٦ |
| طينات وأجسام الخزف الحجرى | ٥١ |
| أولا : طينات خزف حجرى طبيعية | ٥١ |

## تابع:المحتـويـات

صفحة

**ثانيا: تركيبات أجسام خزف حجرى** ٥٢
**إختيار الطفلة المستخدمة** ٥٣
طينات الكرة – الكاولين – الطين النارى – الطينات الأرضية الحمراء ٥٤
الجروج – الفلنت – الفسبار ٥٤
التلك – البيروفليت ٥٥
**التشكيل** ٥٥
**اللون والملمس لطينات الخزف الحجرى** ٥٥
**طلاءات الخزف الحجرى** ٥٥
الفلسبار كمادة أساسية فى طلاءات درجات الحرارة العالية ٥٦
الخامات الأخرى لطلاءات درجات الحرارة العالية ٥٦
١– الفلسبار ٥٦
٢– الطين – ٣– حجر جيرى – ٤– كربونات الباريوم ٥٧
٥– كربونات الماغنسيوم – ٦– الدولوميت ٥٧
٧– التلك – ٨– الكوليمانيت – ٩– أكسيد الزنك ٥٨
**البطانات لأجسام الخزف الحجرى** ٥٩
تكوين البطانات ٦٠
**أنواع طلاءات الحريق العالى** ٦١
١ – الطلاءات الفلسبارية ٦١
٢– طلاءات معتمة تحتوى نسبة عالية من الطينات ٦٢
٣– طلاءات الباريوم المطفية ٦٢
٤– طلاءات الماغنيسيا – ٥– طلاءات الكالسيوم ٦٣
٦– طلاءات الكوليمانيت – ٧– طلاءات الزنك ٦٤
٨– الطلاءات الجافة ٦٥
**اللون فى طلاءات الحرارة العالية** ٦٥

تابع:المحتـويـات

صفحة

الطلاءات الطبيعية ٦٥

١- طلاءات طينية ٦٩

٢- طلاء الرماد - ٣- الطلاء الملحى ٧٠

الحـريـق ٧١

تحديد الخواص للأجسام المحروقة ٧١

التصميم و إرتباطه بالخامة و الإستخدام ٧٢

المـراجـع العـربيـة ٧٤

المـراجـع الأجنبيـة ٧٥

# الجزء الأول

## مقدمة و تعريف

# مقدمـــــــــــة

فى الآونـــة الأخـــيرة زاد الإهـــتمام بخزفـــيات درجات الحرارة العالية من الخزف الحجرى Stoneware والبورســـيلان Porcelain لما لهما من قيم جمالية عالية، لذا تأتى أهمية تقديم ما يفيد هـــذا المجال من خلال الدراسات السابقة، وإختيار الخزف الحجرى لما يتميز به من مرونة فى مراحل التشغيل المختلفة مع الحرية فى مجال التصميم، وتميزه بالخصائص الجمالية بجانب مواصفاته فى المجالات المخـــتلفة إن كان فى مجال الخزف الراقى Fine أو الخشن Course واستخداماتها المتنوعة فى المجال الفـــنى أو الصناعى أو المعمارى، مع إمكانية إنتاجه فى أحجام متنوعة تعطى الحرية فى تنفيذ منتج فى أصغر أو أكبر الأحجام دون حدوث تشوه نتيجة التصميم.

ذلـــك بجانب تميز الخزف الحجرى بإمكانيات التشغيل المعتادة التى تتبع فى الخزف الأرضى Earthenware مع خصائص تتشابه وتتقارب مع خصائص البورسيلان Porcelain، وتميزه أيضا بالأجسام الملونة والتى تزيد جمالياتها عندما تكون متزججة.

# الخزف الحجرى Stoneware

الخزف الحجرى* هو إحد الأجسام الخزفية المتزججة فى درجات الحرارة العالية التى عادة ما تتراوح بين (١٢٠٠-١٣٠٠)°م ذو بنية معتمة تكاد تكون صماء، وتصل درجة إمتصاص الماء فى بعض الأنواع الراقية ما بين (صفر – ٥)% مكسره ناعم لامع، وهو فى خواصه وجودته وسط بين الفخار الأرضى Earthenware والبورسيلان Porcelain ويستخدم فى أغراض عديدة متنوعة من منتجات خزفية ثقيلة Heavy مثل المواسير والقدور إلى منتجات خزفية راقية Fine مثل أوانى المائدة والأوانى الفنية متدرجا بذلك من أوانى مسامية إلى كثيفة Dense كما هو موضح فى الشكل رقم (١).

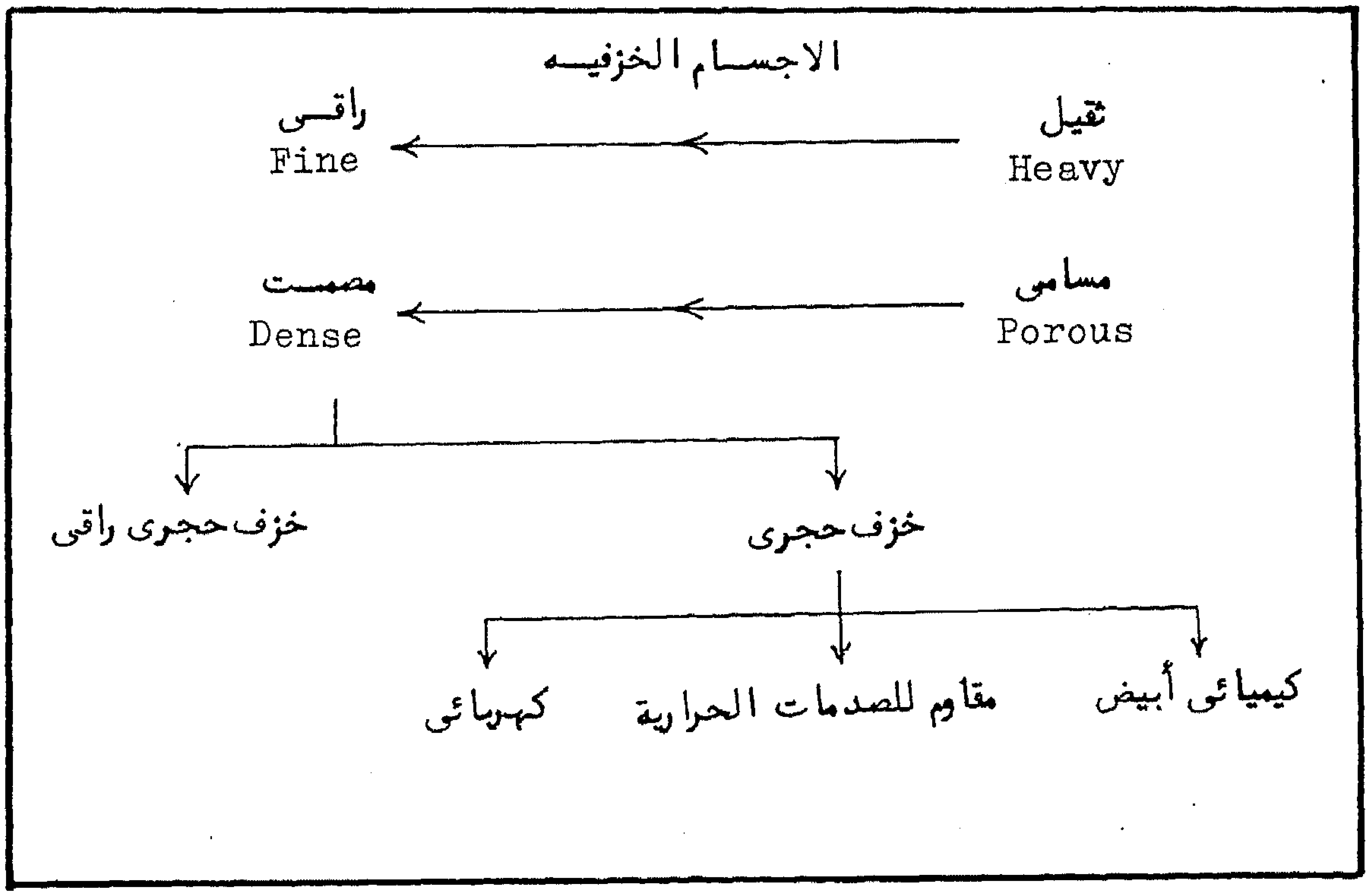
ويرتبط الخزف الحجرى إرتباطا كبيرا بالمنتجات الخزفية المتنوعة من منتجات الخزف الأرضى والبورسيلان، والطوب والحراريات. وكما هو موضح فى الشكل رقم (٢) يمكن أن يتدرج أى نوع من الخزفيات إلى إحد أنواع الخزف الحجرى بمواصفات خاصة وتبعا لذلك يأتى بعض التعريف بالخزف الحجرى مرتبطا بعلاقته مع الأنواع الأخرى من الخزفيات، حيث يعتبر أنه إناء أرضى مزججا جزئياً بالحريق عند درجات حرارة عالية نسبيا، ويصبح غير منفذ للماء والسوائل عند الاستخدام لذلك لا يحتاج إلى طلاء زجاجى وقد يكون بدرجة من الشفافية فى بعض الأجزاء الرفيعة السمك.

يشترك الخزف الحجرى مع البورسيلان فى بعض الخواص الطبيعية مثل إمتصاص الماء والصلادة إلا أنه يختلف عنه فى اللون ودرجة الشفافية ويتميز بما يلى:-

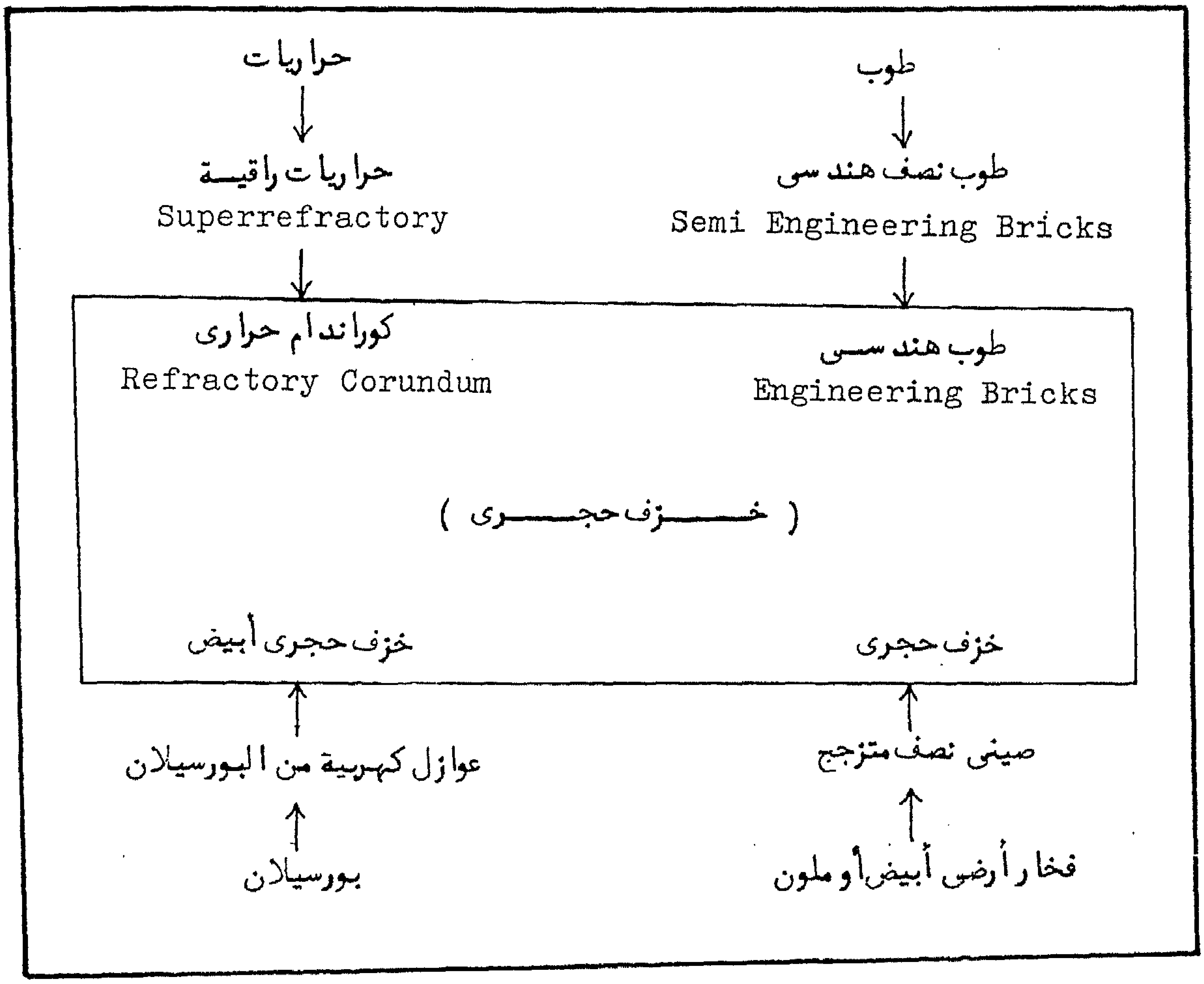
١- يمكن إستخدام خامات لإنتاج أنواع الخزف الحجرى تقل فى درجة النقاء عما فى البورسيلان.
٢- عادة ما تحرق منتجات الخزف الحجرى بدون إستخدام علب الرص (الكازتات Saggers).
٣- يحرق الخزف الحجرى فى درجات حرارة متوسطة نسبيا حوالى (١٢٠٠-١٣٠٠)°م.
٤- تتميز أجسام الخزف الحجرى بتحمل ميكانيكى عالى قبل الحريق Green Strength وذلك لإحتوائها غالبا على نسبة عالية تصل إلى ٧٠% من طينات ثانوية ذات لدونه عالية، هذا بالمقارنة مع أجسام البورسيلان الصلد Hard Porcelain الذى يحتوى على نسبة عالية من الكاولين ذو اللدونة المنخفضة وبالتالى تحمل ميكانيكى أقل.

---

* يترجم المصطلح الإنجليزى Stoneware بالمراجع العربية إما بالخزف الحجرى أو الخزف الزلطى، وتم إختيار المصطلح (الخزف الحجرى) لتشابه مظهر وخواص المنتج بالأحجار الطبيعية كما فى الجاسبر Jasper والبازلت Basalt، وترجع الترجمة بالمصطلح الخزف الزلطى لتشابه مكسره بمكسر الزلط ورنينه عندما يطرق.




شكل رقم (١) : بعض منتجات الخزف الحجرى .




شــكل رقم (٢) : العلاقة بين الخزف الحجرى والمنتجات الخزفية الأخرى .

٥- منتجات البورسيلان أكثر عرضه للتشوه فى مراحل التشغيل المختلفة وخاصة خلال عمليات الحريق أكثر منه فى الخزف الحجرى.

٦- لا تتميز منتجات الخزف الحجرى بلون معين مثلما فى منتجات البورسيلان الذى ينبغى أن يكون بلون أبيض أو عاجى، لكن يتواجد الخزف الحجرى بجانب الأبيض والعاجى بألوان اخرى من البنى الفاتح أو المحمر أو لون الرماد.

ويمكن تشكيل الخزف الحجرى بالطرق المختلفة من طريقة جافة أو مبللة، فيشكل إما بالصب فى قوالب أو بطريقة البثق Extrusion أو بطرق الضغط المختلفة كما يمكن إستخدام طرق التشكيل اليدوى العديدة.

وتستخدم منتجات الخزف الحجرى بدون طلاء زجاجى أو تطلى بالطلاء المناسب كما يمكن طلاؤها بالطلاء الملحى Salt Glaze الذى يتم بنثر ملح كلوريد الصوديوم أو خليط من كلوريد الصوديوم والبوراكس فى الفرن أثناء حريق المنتجات والذى يتبخر عند حوالى (٨٠٠-٩٠٠)°م ليترسب على سطح الإناء ويتفاعل معه مكونا الطبقة الزجاجية.

## أنواع الخزف الحجرى

يقسم الخزف الحجرى إلى خمسة أنواع كما يلى:

١- خزف حجرى عادى Ordinary Stoneware ملائم لمقاومة التآكل الكيميائى فيما عدا حامض الايدروفلوريك.

٢- خزف حجرى راقى Fine Stoneware ناتج من اختيار دقيق وإعداد خاص للمواد الخام المستخدمة لإنتاجه.

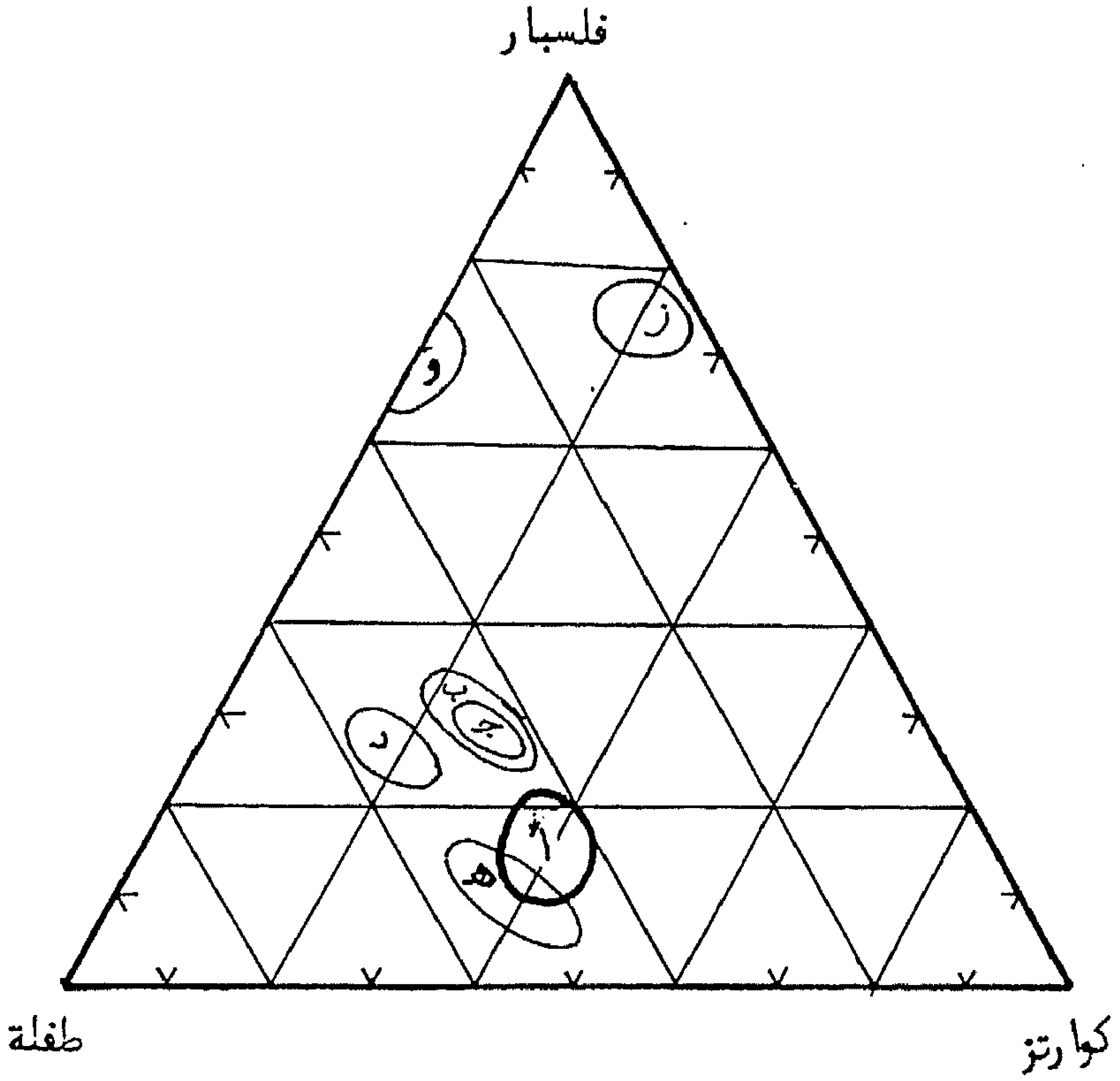
٣- خزف حجرى أبيض White Stoneware بإختيار أكثر دقة للخامات النقية ودرجات حريق ملائمة.

٤- خزف حجرى معالج لمقاومة الصدمات الحرارية.

٥- خزف حجرى بزيادة الخواص الكهربية.

## أنواع الخامات المستخدمة فى إنتاج الخزف الحجرى

تستخدم خامات مختلفة لإنتاج أجسام الخزف الحجرى من أهمها الطفلة مع إضافة مواد أخرى مساعدة على الصهر أو مواد مالئه، ويمكن توضيحها فى صنفية ثلاثية Triaxil لتركيبات الأجسام الخزفية المختلفة والتى تعطى صورة واضحة عن نسب الخامات المستخدمة فى كل نوعية كما فى الشكل رقم (٣) الذى يبين تكون أجسام الخزف الحجرى عامة من نسبة طفلة حوالى (٤٠-٥٠)% ونسب المادة المصهره (الفلسبار) تتراوح ما بين (١٠-٢٠)% فى حين تصل نسبة المادة المالئه (الكوارتز) إلـــى




شكل رقم (٣) : نسب الخامات المستخدمه فى بعض النوعيات الخزفية .

(أ) أجسام الخزف الحجرى . (ب) بورسيلان كهربى .

(جـ) خزف صحى Sanitary . (د) بلاط أرضيه متزجج .

(هـ) إناء نصف متزجج . (و) بورسيلان البارياan .

(ز) بورسيلان الاسنان .

(٣٥-٤٥)% وتحدد نسبة الطفلة والخامات الأخرى المستخدمة تبعا لنسب أكاسيد السيليكا والألومنيا والقلويات المكونة لها والتى تؤثر على درجة حريق المنتج وخواصه المختلفة، وباستخدام تلك الخامات يقع تركيب الخزف الحجرى فى مجال معدن الموليت Mullite أى أن جسم الخزف الحجرى المحروق يحتوى على بلورات من معدن الموليت ونوع من معادن السيليكا المتبلورة وكذلك مادة زجاجية رابطة.

تحتوى خامات الطفله بجانب معادن الطفلة من الكاولين والمونتموريللونيت Montmorillonite على شوائب مختلفة أهمها أكاسيد الحديد وكبريتات وكربونات الكالسيوم وأملاح الكلوريدات وغيرها والتى لها تأثير مباشر على مواصفات الجسم الخزفى وعلى أساسها يتم إختيار خام الطفلة تبعا لدرجة نقاء الخامة ونوع المعدن المكون لها وكمية ونوع الشوائب الموجودة بها، فمثلا لإنتاج نوعيات من الخزف الحجرى الأبيض يتطلب إختيار أنواع خالية من الشوائب تحتوى على معدن الكاولينيت.

وفى بعض الأحيان تحتوى خامات الطفلة على نسبة من الشوائب تعمل كمساعد صهر أو كمواد مالئه تفيد فى إستخدام الخامة بمفردها بدون الحاجة إلى إضافات أخرى. كما يمكن خلط نوعين أو أكثر من خامات الطفلة للحصول على خواص طبيعية معينه مثل اضافة طفلة لدنة كالبنتونيت إلى الكاولين لزيادة لدونته وتسهيل عملية التشكيل.

يستخدم الفلسبار بنوعية الصوديومى والبوتاسيومى كمادة مساعدة على الصهر فى تركيبات الخزف الحجرى، وكثيرا ما يضاف بعض النسب من خامات أخرى مثل الماجنيزيت أو الطباشير أو الدولوميت لتحسين بعض الخواص كما فى إنتاج الخزف الحجرى الصحى والعوازل الكهربية كذلك يضاف أكسيد الباريوم لتحسين مقاومة المنتج للقلويات والمعادن المنصهرة.

ويمكن إستخدام مواد أخرى مساعدة على الصهر مثل صخور الجرانيت والبازلت والتلك والباريت وكذلك الخبث Slag أو بعض بقايا الصناعات.

ويضاف الكوارتز أو نسبة من الطفلة المحروقه Grog كمادة مالئة فى تركيب الخزف الحجرى لتقليل درجة إنكماش الجسم بعد الحريق وتنظيم عملية التجفيف خاصة فى القطع الكبيرة لتلافى عيوب التجفيف من تشقق أو شروخ مع حفظ شكل المنتج من التشويه أثناء عملية الحريق.

ويمكن إضافة بعض الأكاسيد فى صورة خاماتها مثل أكاسيد النحاس والكوبالت والمنجنيز والكروم.. وغيرها للحصول على ألوان مختلفة للمنتج.

كما تضاف بعض المواد المصنعه لتحسين بعض الخواص وإعطاء مواصفات خاصه مثلما فى حالة إضافة الكورديريت أو كربيد السيليكون لتحسين الخواص الحرارية والكهربية.

تراعى جميع خواص المواد المضافة وتأثيرها على الأجسام الخزفية حيث تؤدى بعض الإضافات إلى تحسين بعض المواصفات مع تأثير عكسى على مواصفات أخرى وذلك كما فى حالة إضافة كربونات الكالسيوم التى تضاف لتقليل من نسبة إنكماش المنتج وخفض درجة حرارة الحريق وتحسين التصاق الطلاء الزجاجى بالجسم الخزفى إلا أنها فى نفس الوقت تزيد المسامية وتقلل التحمل الميكانيكى.

ويؤثر نوع مساعد الصهر المستخدم والإضافات المختلفة فى تركيبات الجسم الخزفى على كمية الموليت Mullite المتكونة بعد الحريق ونوع المادة الزجاجية فى الجسم المحروق والتى تؤثر بالتالى على خواص الجسم الميكانيكية والحرارية والكهربية ومقاومتها للكمياويات.

## الإستخدامات المتنوعة لمنتجات الخزف الحجرى

يمكن تقسيم منتجات الخزف الحجرى إلى قمسين تبعا للاستخدام

أولاً: منتجات ثقيلة أو خشنة Heavy or Coarse Stoneware

ثانياً : منتجات راقية Fine Stoneware

**تشمل منتجات الخزف الحجرى الخشن Coarse على:**

**١- أنابيب مغطاه بطلاء ملحى Salt Glazed Pipes أو متزججة بدون طلاء** Vitreous Unglazed خاصه بالصرف الصحى أو أنابيت المعامل والمصانع.. وغيرها.

**٢- بلاط أرضية Paving Tiles**

يستخدم لأرضيات المطابخ والمبانى الشعبية والمصانع أو المحلات وحظائر الماشية وما شابه ذلك، يمتاز بمقاومته العالية للاحتكاك ولفعل تقلبات الطقس بذلك يلائم أيضا فى تكسية الحوائط الخارجية للمبانى كما يتضح فى (الشكل رقم ٤)، وذلك لمقاومته فعل الصقيع.

يستخدم فى إنتاج طوب خاص بالأعمال الهندسية يطلق عليه طوب هندسى Blue Brick or Engineering Bricks وهو نوع يقترب من مواصفات الخزف الحجرى صلد وكثيف Dense بلون رمادى مائل إلى الأزرق، وينتج فى أوروبا بدرجة إمتصاص للماء من (٣-٤)% أما فى بريطانيا تزيد درجة الإمتصاص إلى ١٠% لنفس النوع.

**٣- خزف حجرى كيميائى Chemical Stoneware**

يستخدم أساسا فى مجال صناعة الأدوية وصناعات المواد الغذائية خاصة فى المستشفيات، كما يستخدم فى إنتاج أدوات المعامل ومواسير الصرف الخاصة بها والتى تقاوم فعل الأحماض والقلويات.

شـكل رقم (٤) : واجهه خارجيه لاحد المبانى مكسوه ببلاطات من الخزف الحجرى .

ويتنوع الجسم الخزفى فى هذا النوع تبعا للإستخدام فنجد خزف حجرى كيميائى أبيض اللون خاص بصناعات الأدوية والأغذية حيث من مميزاته سهولة رؤية الشوائب فى المحاليل، كما تتنوع الإستخدامات لهذا النوع فى الصناعات المختلفة مثل صناعات النسيج وأحواض الصباغة وإنتاج الأوعية الخاصة بالزراعة مثل أدوات منتجات الألبان وإعداد الخضروات أو فى الأوعية الخاصة بتغذية الماشية.

كما يستخدم أيضا فى عمل بلاط وطوب مقاوم للأحماض، لا يزيد درجة إمتصاصه للماء عن ١% مما يجعله مقاوم لفعل الأحماض وقد تصل درجة الإمتصاص للماء (صفر) وفى تلك الحالة يصبح التحمل الميكانيكى عالى وكذلك مقاومة الجسم للأحماض.

**٤- قدور حفظ المأكولات Preserve Jars**

تقاوم تلك الأجسام الخزفية فعل البلى Corrasion لذلك تستخدم فى حفظ الأطعمة وفى بعض الصناعات مثل صناعة الأدوية والألبان.

**تشمل منتجات الخزف الحجرى الراقى Fine على:**

أوانى الخزف الحجرى الأستعمالية داخل المترل تشمل أوانى المائدة والمطبخ والأوانى الفنية وأوانى الزهور وكذلك الأدوات الكهربية والصحية.

**١- أوانى المائدة Tablewares**

تشمل أوانى الطعام والشاى والقهوة وكذلك أطقم البيرة والخمور وغيرها، والتى تصنع فى أشكال متنوعة تتميز بخصائص ومواصفات خاصة، كما تشمل أيضا أوانى الفرن عندما يقاوم الجسم الخزفى فعل الحرارة.

**٢- أوانى المطبخ Kitchenwares من الخزف الحجرى**

أ- تشمل أطقم التوابل وأوانى حفظ الطعام بالثلاجات وقدور إعداد الطعام وأوانى إعداد القهوة وما شابه ذلك، كما يمكن إستخدام تلك الأوانى معا على المائدة. وتشمل أوانى المطبخ أيضا على قدور التخليل وأوانى حفظ الطعام مثل أوانى المربى أو الفواكه.

وتمتاز تلك الأوانى بخصائص الخزف الحجرى الكيميائى خاصة مقاومته للأحماض ومقاومة البرى Abrasion كما تمتاز بالتحمل الميكانيكى الذى تحتاجه تلك الأوانى للإستخدام فى المطبخ.

ب-أوانى مقاومة للتسخين **Heat Resistant Wares**

تشمل أوانى الفرن وأوانى مقاومة اللهب والتى تستخدم فى أوانى الطهى البطئ بالأفران أو بإستخدامه على اللهب المباشر حيث يمتاز بمقاومته للصدمات الحرارية، وتستخدم أحيانا قاعدة من عازل حرارى مثل قرص من الأسبستوس عند وضع الإناء على الموقد

٣- أوانى فنية **Artwares**

تشمل العديد من المنتجات الفنية مثل أوانى الزهور وأوانى الزينة والتماثيل الصغيرة وأطباق مزخرفة للزينة وكذلك طفايات الرماد وغيرها من القطع الفنية أو قطع الهدايا، وتعتبر تلك المنتجات من الخزف الحجرى ذات طابع خاص تبعا لنوع الجسم المستخدم مثلما فى بعض منتجات ودجوود Wedgwood المعروفة بالجاسبر Jasper أو البازلت الاسود Black Basalt أو غيرها.

٤- أدوات خزف حجرى كهربائى **Electrical Stoneware**

يشابه البورسيلان الكهربى فى خواص عديدة إلا أنه يمتاز عنه بصفة منفردة فى قابلية التشكيل Workability كما فى تشكيل القطع الكبيرة التى يمكن أن تصل إلى إرتفاع لأكثر من ٨ متر.

٥- أدوات صحية من الخزف الحجرى **Sanitary Stoneware**

تلائم بدرجة كبيرة لإنتاج البالوعات وحوض الحمام وغيرها من الأدوات الصحية وخاصة فى المصانع والمعاهد والمستشفيات.

# الجزء الثانى
# بداية و تطور الخزف
# الحجرى فى العالم

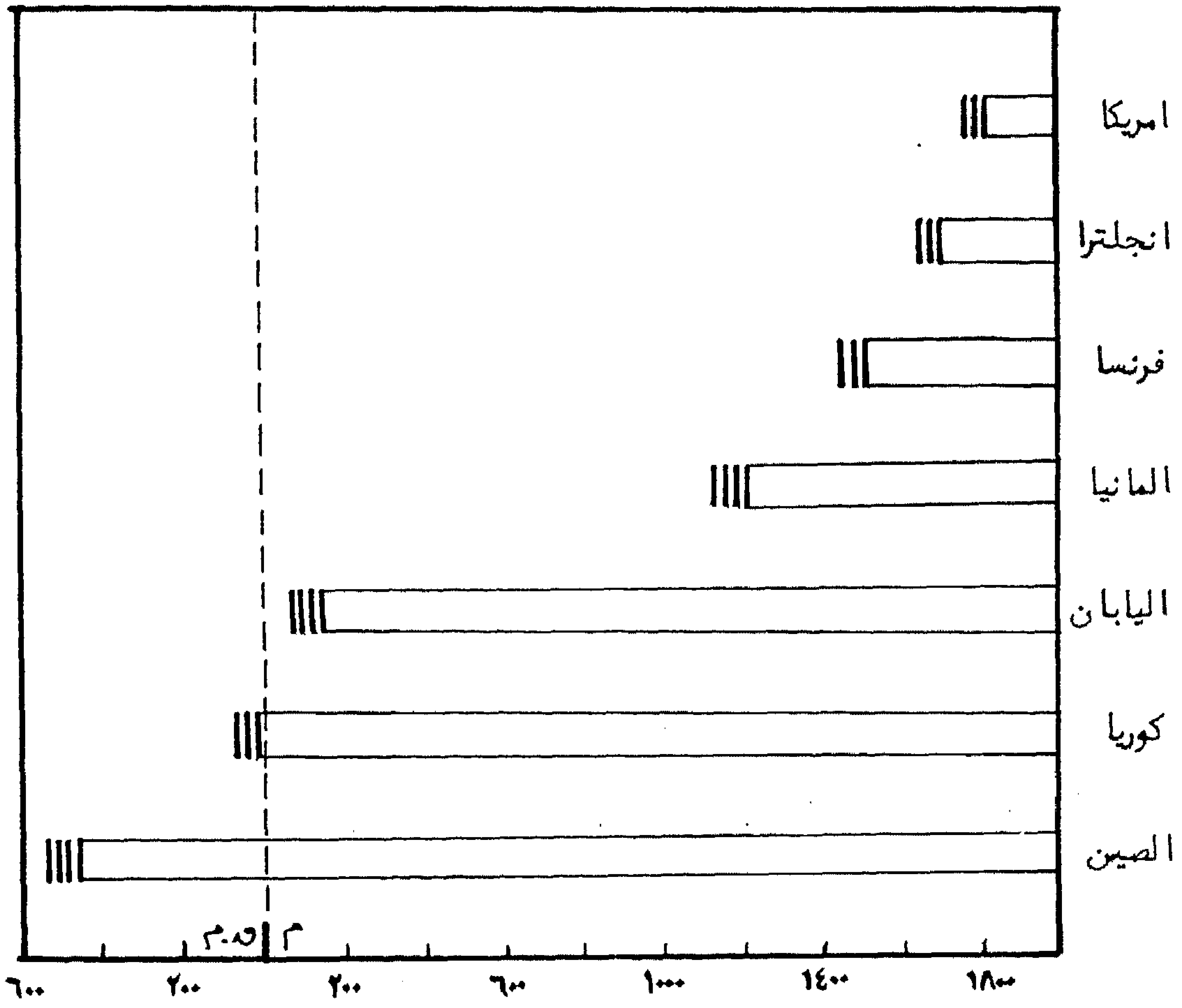
## بداية وتطور الخزف الحجرى فى العالم

لم يذكر بالمراجع المختلفة ما يدل على وجود منتجات مترجحة فى مصر قديما بجانب النوعيات الخزفية التى تميزت بها مصر فى مختلف العصور وفى صور متنوعة متميزة منذ ما قبل التاريخ ومن خلال الحضارات المتتالية. بذلك لم يتضح إنتاج منتجات تشمل مواصفات الخزف الحجرى فى مصر قديما وقد يرجع ذلك إلى طبيعة وإمكانية الخامات التى تتحمل درجات الحرارة العالية والتى تتطلبها كل من المنتجات المتزججة والافران الخاصة بها والتى إمتازت بها بلاد الشرق الاقصى، فكانت الصين كما ذكر فى المراجع المختلفة هى أول مكان فى العالم لظهور منتجات متزججة منذ حوالى ٥٠٠ عام قبل الميلاد (شكل رقم ٥) وحيث توصل الصينيون قبل غيرهم لمعرفة الأساليب المختلفة لبناء وحريق الأفران للوصول إلى درجات حرارة عالية وكذلك العمل بالطينات الحرارية لكل من الفرن والإناء والطلاء الزجاجى الصلد فكانت بداية إنتاج الخزف الحجرى قبل أسرة (هان Han – ٢٠٦ ق.م – ٢٢٠م) فى الصين.

بالرغم من التقارب بين أساليب خزافى الشرق الأدنى والأقصى ذلك الوقت، وبالرغم ايضا من تأثر الفنون الإسلامية بفنون الشرق الأقصى وخاصة فى فترة (تانج Tang ٦١٨-٩٠٦م) إلا أن خزاف الشرق الأدنى لم يتضح إنتاجه لأوانى متزججة من الخزف الحجرى والبورسيلان وربما يرجع ذلك إلى الخامات التى تلائم إنتاج تلك النوعيات الخزفية التى وقفت حائلا دون التوصل إلى نوعيات مماثله، فأتجه الخزافون بالعالم الإسلامى إلى الإبتكار والإبداع فى مجال الطلاءات الزجاجية الراقية Fine والتى تعطى مظهر الأوانى الصينية المتزججة. فكان بذلك ظهور الأسلوب الفريد لطلاءات البريق المعدنى Laster Painting والذى ظل محتكرا لقرون طويله من خزافى الشرق الأدنى.

تطورت أوانى الخزف منذ بدايتها قبل أسرة هان من أوانى خشنة السطح بدون طلاء إلى أن أنتجت أنواع راقيه تقترب مواصفاتها من البورسيلان مع بداية العصر المسيحى تقريبا، والتى تطورت من خلال العصور والأسر الحاكمة فى الصين فى ظهور نوعيات متعددة من أوانى الخزف الحجرى وظهور أساليب متنوعة.

وأنتشرت صناعة الخزف الحجرى فى بلاد الشرق الاقصى، كما ظهر فى كوريا منذ الأسرة الحاكمة (سيلا Silla – ٥٧ق.م –٩٣٥م) وفى اليابان منذ فترة (سيو Sue- ١٠٠-٥٠٠م) بظهور أساليب ونوعيات مميزة فى كل منهما.




شكل رقم (٥) : بداية صناعة الخزف الحجرى فى العالم

بدأت صناعة الخزف الحجرى فى أوروبا فى فترة حديثة نسبيا حيث بدأت أولا بألمانيا منذ القرن الثانى عشر فى أساليب مميزة وخاصة ظهور الطلاء الملحى الذى لزم لإنتاجه تطوير الأفران المتميزة بأسلوب خاص لطلاء المنتجات أثناء الحريق.

ثم أنتشرت صناعة الخزف الحجرى فى فرنسا وإنجلترا وظهور نوعيات فريدة وخاصة فى صناعة الأوانى النفعية من قدور وأباريق وأوانى شاى ومائدة والتى تطورت لنوعيات راقية مثلما فى صناعة (ودجوود Wedgwood) التى تنوعت منتجاته لتشمل أنواع راقية من الخزف الحجرى المتزجج غير المطلى الذى يشابه بعض الأحجار الطبيعية مثل (الجاسبر Jasper والبازلت Basalt).

وفى أمريكا بدأت صناعة الخزف الحجرى فى القرن الثامن عشر من أعمال بعض الفنانين باستخدام طلاءات ملحية وفى بعض الأوانى النفعية وأخذ إهتمام العديد من الخزافين فظهرت نوعيات فريدة مميزة.

وفيما يلى بعض النوعيات الخاصة بمنتجات الخزف الحجرى الراقى وتطورها من خلال العصور المختلفة منذ بدايتها ومع بعض الأساليب الخاصة بتلك النوعيات.

## أولاً: الشرق الأقصى

طبقا للمراجع المختلفة فإن أول ظهور للمنتجات المتزججة فى العالم فى الصين منذ ما قبل الميلاد بحوالى ٥٠٠ عام وذلك بظهور المنتجات التى تنتمى إلى الخزف الحجرى والذى صنع فى البداية فى أوانى خشنة السطح وبأشكال بسيطة إلى أن تطور إلى نوعيات من الخزف الحجرى الراقى ثم ظهور البورسيلان مع بداية العصر المسيحى تقريبا، ومع تطور فى الأساليب المختلفة من خلال الأسرات الحاكمة فى الصين، كذلك بدأ الخزف الحجرى فى كوريا فى فترة الأسرة الحاكمة (سيلا Silla -٥٧ ق.م – ٩٣٥م) بتأثير بعض الأساليب الصينية، كما صنع خزف حجرى فى اليابان متأثرا أيضا بالفخار الصينى بجانب تأثره بأساليب الخزف الكورى.

مرت المنتجات المتزججة فى الشرق الأقصى بمراحل تطور عديدة فى ظهور أساليب وأشكال متنوعة وإستخدام خامات مختلفة أدت إلى ظهور نوعيات مميزة لكل مرحلة من مراحل تطورها وظهور بعض الأساليب ومنها النماذج التالية.

### أ – الصين

مع البداية الأولى لصناعة الخزف الحجرى فى العالم ظهرت نوعيات من المنتجات الخزفية قبل الأسرة الحاكمة هان فى الصين (٢٠٦ ق.م – ٢٢٠م) يغلب عليها اللون الرمادى أو الأحمر buff

ذات سطح خشن بدون طلاء إلا أنه قد ظهرت بعض القطع ذات طلاء جزئى على جانب القطعة أو أعلاها، ناتج من عمليات الحريق نتيجة لتطاير رماد الوقود أثناء الحريق وتلامسه مع سطح الإناء مكونا طبقة رقيقة من الطلاء والذى يعتبر بداية لخزف حجرى مطلى – ثم أستمر التطور فى إنتاج نوعيات مختلفة من الخزف الحجرى خلال الأسر الحاكمة المتنوعة فى الصين والوصول لأساليب عديدة نوضح بعضها فيما يلى

## الأسرة الحاكمة هان Han (٢٠٦ ق.م – ٢٢٠م)

كانت أغلب منتجات الخزف الحجرى عبارة عن قدور بفوهات ضيقة بعض الشئ مميزة بنسب دقيقة وتشكيل جيد على دولاب الخزف Wheel ومعالجة السطح بملامس مختلفة (شكل رقم ٦) ووجدت بعض القطع ذات طلاء زجاجى يحتوى رماد فى تركيبه يغلب عليه اللون الأخضر المائل إلى الرمادى أو البنى.

ومع بداية العصر المسيحى تقريبا صنع خزف حجرى يحتوى نسبة من الفلسبار إما أن تكون فى تركيب الطفلة أو أضيف اليها. وبالإستمرار فى التطوير والتحكم فى ظروف الحريق والأساليب المختلفة للخزف الحجرى مما أدى إلى إنتاج نوعيات من البورسيلان.

## الأسرة الحاكمة تانج T'ang (٦١٨-٩٠٦)م

عرف القليل عن فترة الإنتقال بين الأسر الحاكمة (هان وتانج) والتى تغير فيها الكثير من الأسر الحاكمة إلا أنه ظهر أسلوب مبتكر فى إناء (يويه Yueh) من الخزف الحجرى ذو طلاء زجاجى بلون أخضر رمادى Grey-Green فى أشكال متنوعة من الأباريق والقدور والأطباق.

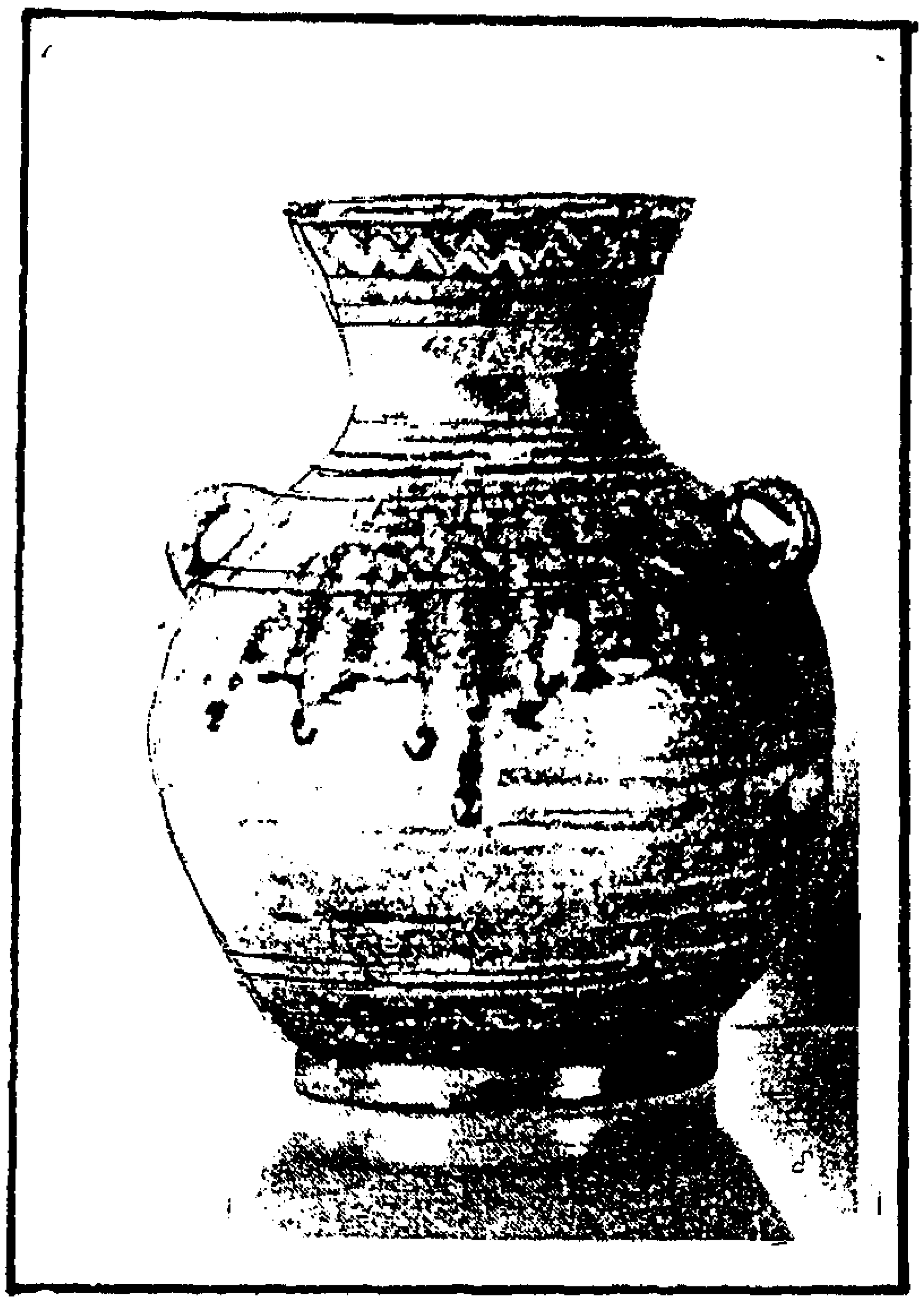
أما فترة حكم (تانج) هى فترة إزدهار لكل من الأوانى المسامية والمتزججة والتى إمتازت بالإبتكار والحيوية والإنتاج بكميات كبيرة، وتميزت الأوانى المتزججة فى ثلاثة أنواع هى:

### النوع الأول:

أستمر للتراث من خزف حجرى يشابه تماما لما صنع فى الفترات المبكرة طلى عادة بطلاء زجاجى بنى اللون أو بنى مائل للأخضر من الطلاءات الفلسبارية أو أضيف إليه رماد كمادة مساعدة على الصهر.

### النوع الثانى:

استمرار الإناء (يويه Yueh) –الذى إستمر من قبل أسرة تانج ولمئات السنين (إلى القرنين العاشر والحادى عشر)، وأمتاز بجسم كثيف Dense ذو صلادة تقترب من صلادة البورسيلان.



شكل رقم (٦) : الصين ــ هان ( ٢٠٦ ق ٠ م ــ ٢٢٠ م ) ٠

## النوع الثالث:

إنتاج خزف حجرى أبيض متزجج وبورسيلان أبيض شفاف – صنعا بمهارة عالية وأساليب ممتازة من خامات الكاولين ونسبة من الفلسبار، والذى تطور تدريجيا إلى الإناء الأبيض الشفاف الذى صنع بسمك رفيع فى الفترات المتأخرة من أسرة تانج Tang، وذلك ما كان يميزه عن منتجات الخزف الحجرى.

## الأسرة الحاكمة سنج Sung (١٩٦٠-١٢٨٠)م

وجدت خمس أسرات فى الفترة ما بين (٩٠٦-٩٥٩)م إمتازت بتطور أسلوب إناء (يويه Yueh).

وجد العديد من مراكز الخزف فى فترة (سنج Sung) مما أدى إلى التنوع الكبير فى منتجات الفخار عن أى فترة أخرى بالصين، وكانت الأجسام الخزفية مصمتة وتزجج جيد وصنع بعضها بسمك رفيع وألوان من رمادى فاتح أو مائل للأبيض.

ومن الاكتشافات الأثرية والوثائق الصينية وجد الكثير من الأوانى التى تمثل مراكز خزف متنوعه تتميز كل منها ببعض الخصائص مثال ما يوضحه التالى عن أجسام الخزف الحجرى.

### أوانى تشون Chun

بلون رمادى أو أحمر Buff مع تنوع كبير فى أساليب وألوان الطلاء الزجاجى.

### أوانى كوان وجو Kuan and Ju

تمتاز بالتنوع فى كل من ملمس ولون الطلاءات فى أجسام خزف حجرى كثيف.

### أوانى لنج تشوان Lung-Chuan

من الخزف الحجرى البورسيلانى الكثيف ويعرفه الصينيون بالبورسيلان، عادة ما يتميز بطلاءات سميكة ذات تشققات رفيعة أو عريضة.

### أوانى تينج Ting

تمتاز تلك الأوانى بسمك رفيع جداً، وصناعة راقية وعادة ما تكون بلون أبيض أو بلون كريمى يشبه العاج، كما ظهر إستخدام البطانات Engobs لزخرفة بعض الأوانى وتميزت الطلاءات الزجاجية ببريق معدنى يشبه مظهر حجر اليشب Jade.

### أوانى تزوتشو Tz'u Chou

صنعت من أنواع أخشن Coarser عن أوانى الفترات الأخرى، وأغلبها من أوانى ثقيلة Heavy للإستخدام اليومى مثل أوانى الخمر أو قدور التخزين وغيرها، لكنها تمتاز بالمهارة الفنية العالية لتشكيل القطع الكبيرة على دولاب تشكيل الخزف كما تنوعت ألوان الطلاءات والتى أستخدمت أساليب مختلفة فى تطبيقها مما أعطى قيمة جمالية للإناء (شكل رقم ٧أ، ب).

### أوانى تشين Chien

صنعت بأعداد كبيرة متنوعة فى أحجام وأشكال تقترب من أوانى الشاى، وأغلبها بطلاءات طينيه Slip داكنه اللون تسيل فى أغلب القطع مكونة حبل سميك قرب قاعدة الإناء (شكل رقم ٨أ).

### أوانى هونان Honan

صنعت فى أماكن عديدة من (هونان) فى فترة (سنح) ذات طلاءات زجاجية قاتمة بأساليب متنوعة ومنها الطلاء الذى يعرف بـــ Mirror Black أسود اللون وناعم السطح (شكل رقم ٨ ب).

### الأسرة الحاكمة مينج Ming (١٣٦٨-١٦٥٥)م

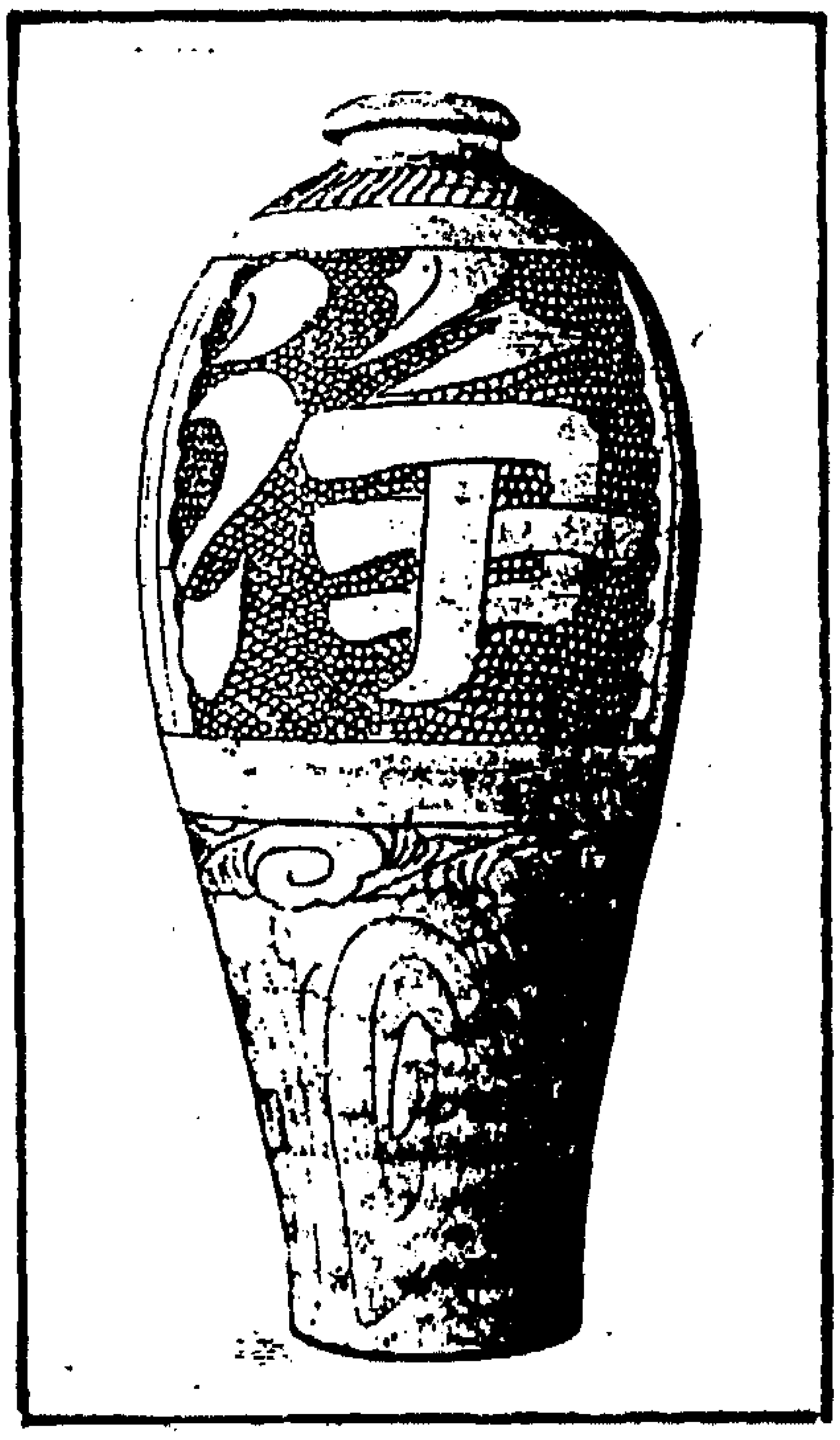
سبقت أسرة (مينج) حكم (يوان Yuan) (١٢٧٩-١٣٦٨)م وفيها وجدت بعض الأساليب المتنوعة لتشكيل أطباق كبيرة وقدور للخمر وغيرها.

كانت فترة (مينج) فترة من الإزدهار والرخاء الاقتصادى وفترة فنية وثقافية يمكن مقارنتها بعصر النهضة الأوروبية، تأثر فيها فن الفخار بالمؤثرات الأجنبية وأصبحت الأوانى من أوانى راقية فى كل من الخزف الأرضى أو الحجرى أو البورسيلان وفى محاكاة تامة للأوانى التقليدية التى صنعت فى الفترات السابقة (شكل رقم ٩).

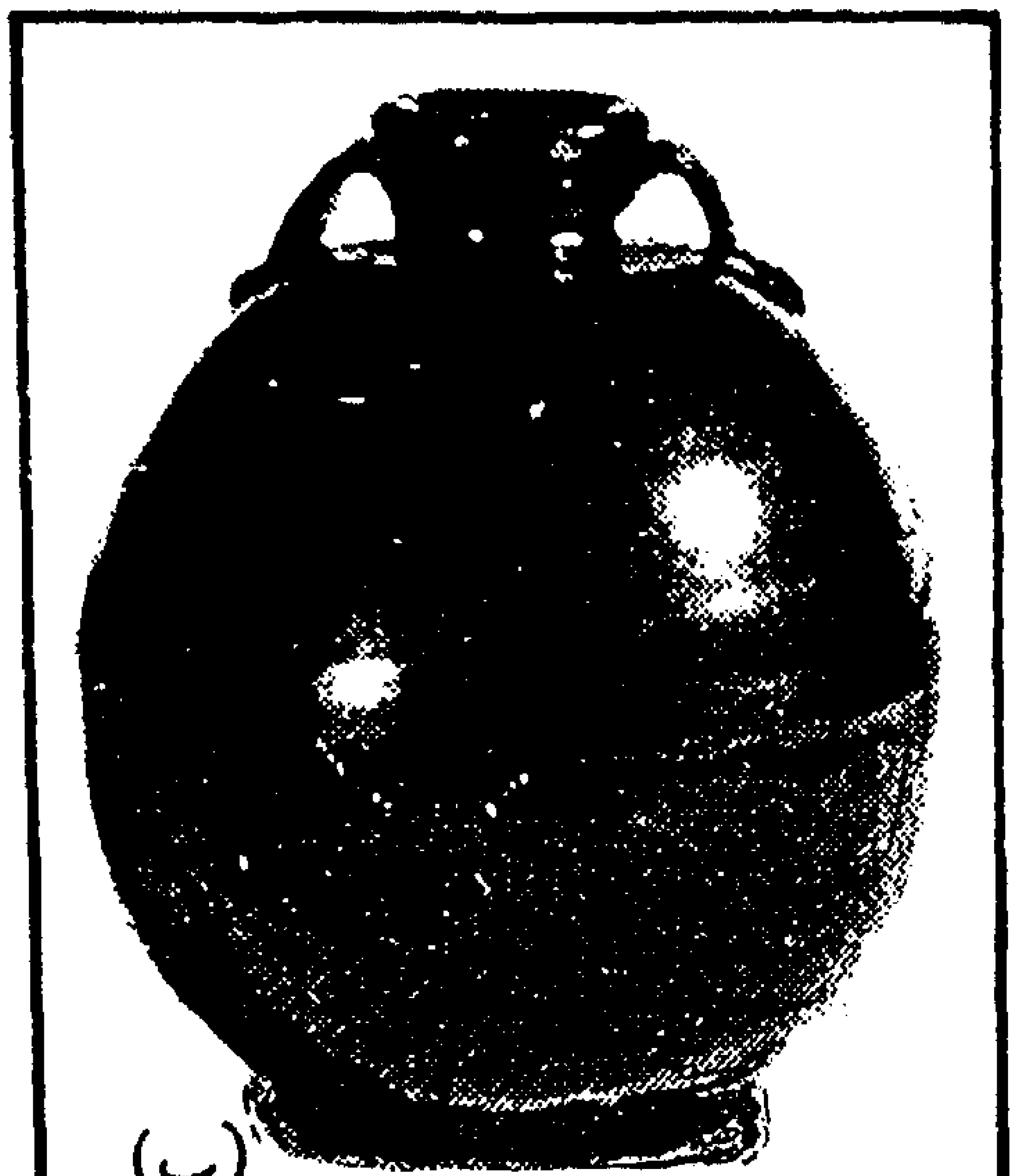
### الأسرة الحاكمة تشنج Ch'ing (١٦٤٤-١٩١٢)م

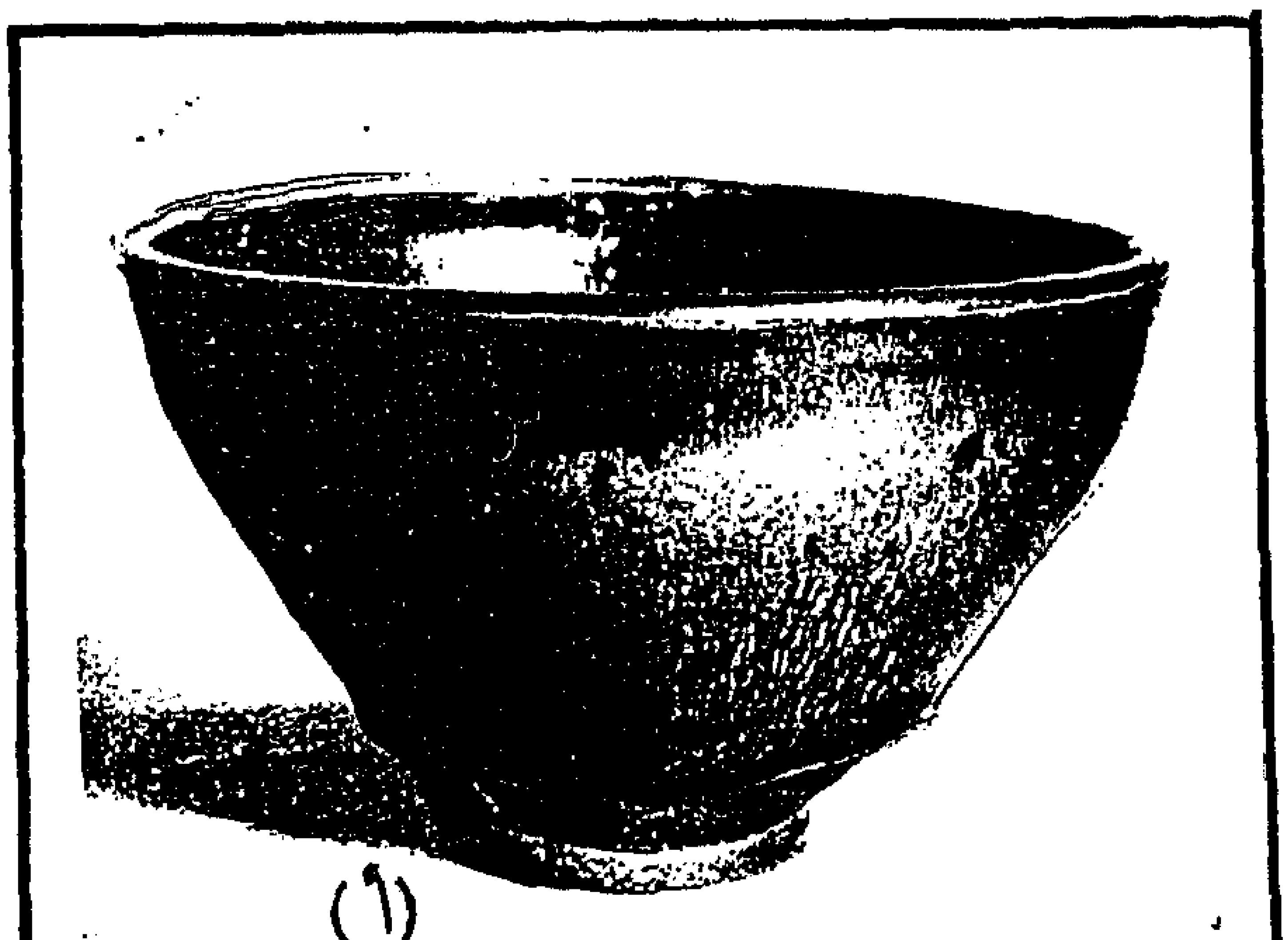
أشتركت أوانى تلك الفترة مع أوانى (مينج Ming) فى عمل أوانى راقيه من المنتجات الخزفية المختلفة وفى محاكاة الأوانى التقليدية. ووجد إهتماما بالإناء المطلى بألوان أرضية وتميل الأجسام إلى الكثير من الصقل كذلك ملمس كل من الزخرفة والطلاء (شكل رقم ١٠).

وكان لأوانى (تشنج Ch'ing) – خاصة الأوانى البسيطة غير المزخرفة – تأثيراً كبيراً على أوانى العصر الحديث بأوروبا، مثال لذلك (الشكل رقم ١١) من الخزف الحجرى الأحمر أو البنى غير المطلى وهو من قدور الشاى من أوانى (ى هنج Yih-hsing بأقليم كيانجسر Kiangser) التى صدرت إلى أوروبا وكان لها التأثير الكبير فى الفترة من نهاية القرن السابع عشر وبداية القرن الثامن عشر والتى قلدها بعض الخزافين بهولندا وألمانيا وانجلترا.

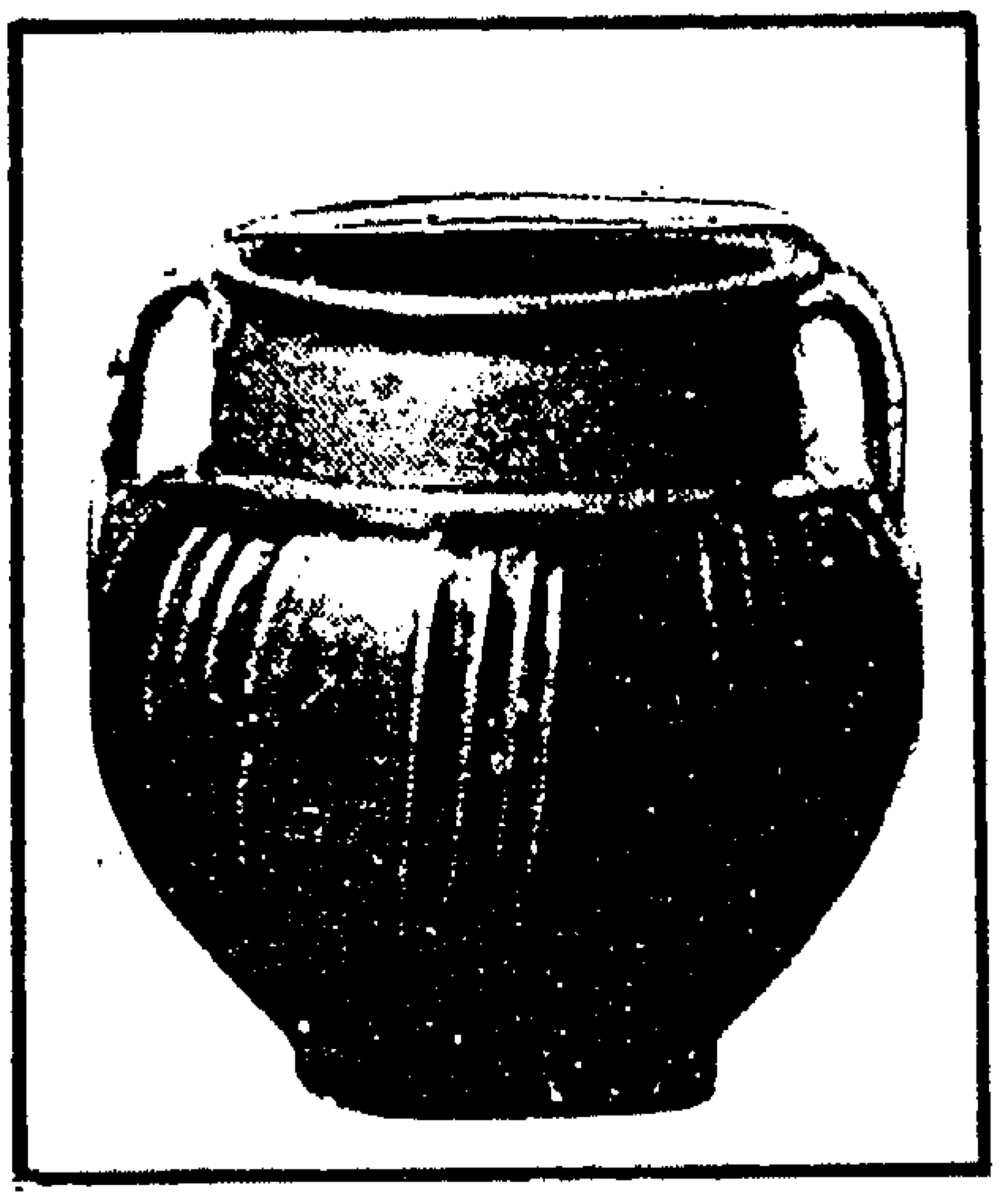


شـكل رقم (٧) : الصين ـ سنج (اوانى تزوتشـو) .

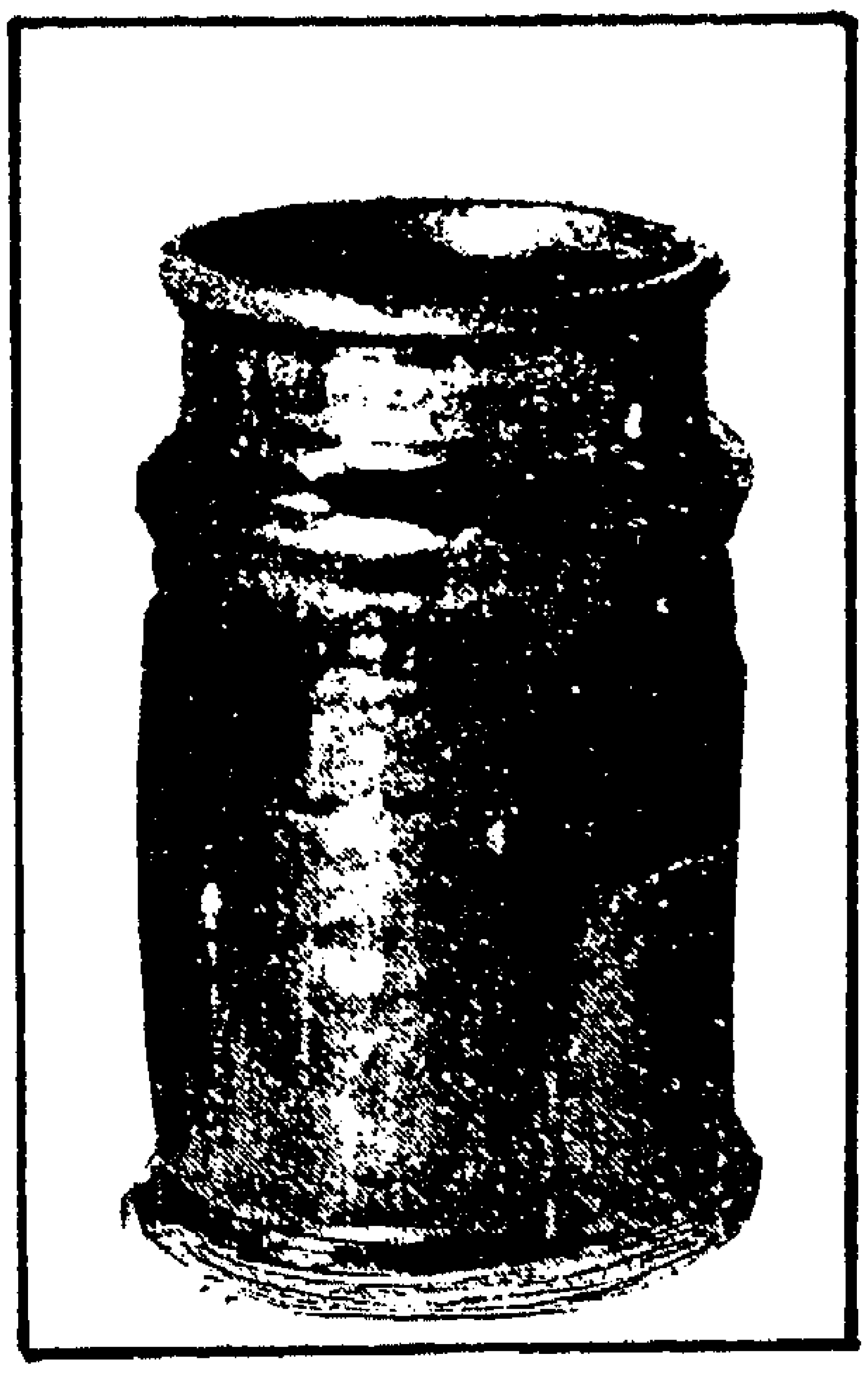

(ب)


(أ)

شـكل رقم (٨) : الصين ـ سنج (أ) اوانى تشـين ، (ب) اوانى هونان .

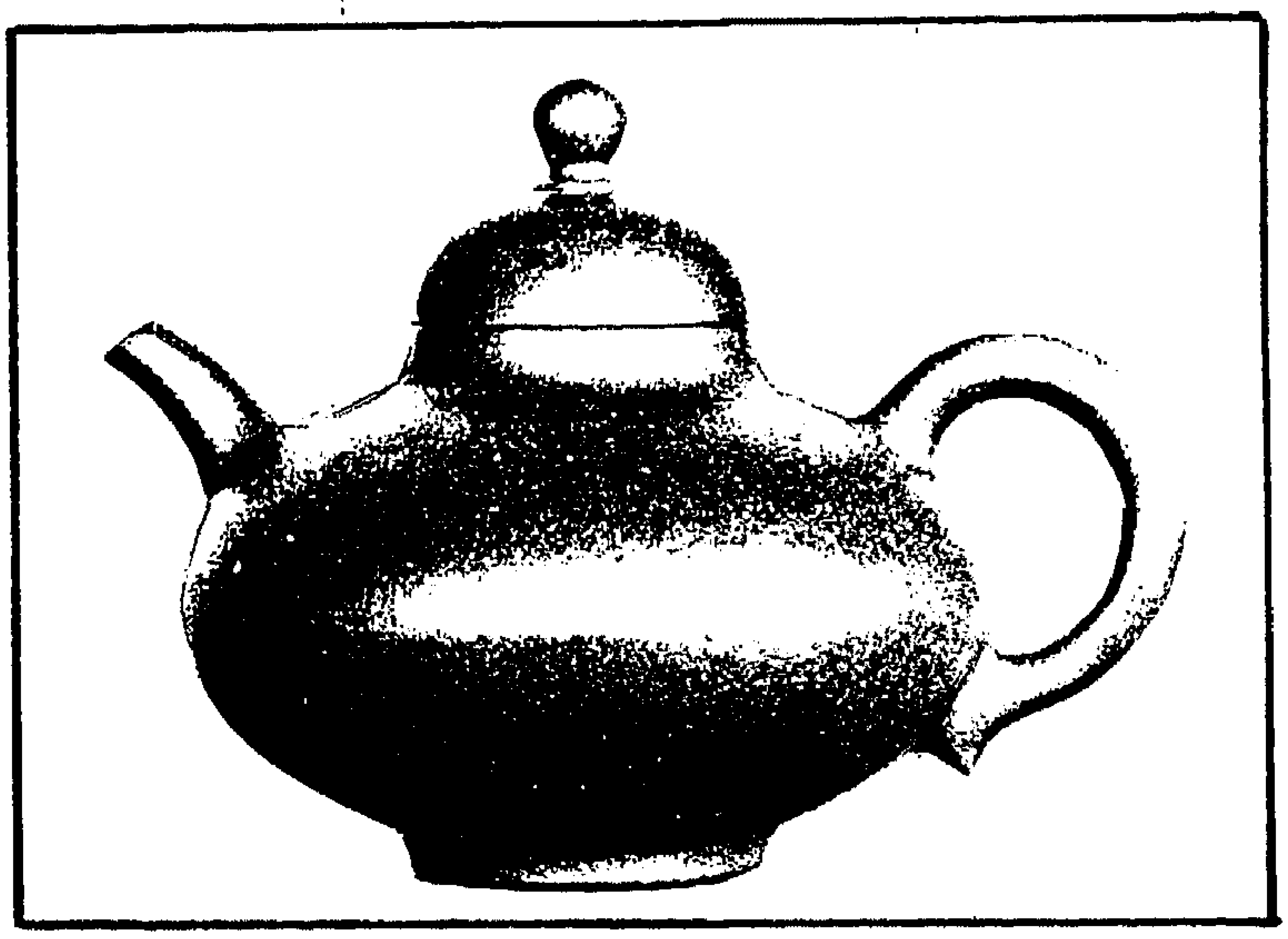


(١٠)



(٩)

شكل رقم ( ٩ ) : الصين ـ مينج (١٣٦٨ ـ ١٦٤٤ ) م
شكل رقم (١٠) : الصين ـ تشنج (١٦٤٤ ـ ١٩١٢ ) م



شكل رقم (١١) : الصين ـ تشنج ( اوانى يى هسنج )

## ب- كوريا

إمتاز الفخار الكورى بخصائص مميزة فى كل من التصميم والأساليب المستخدمة بالرغم من تأثره بالفخار الصينى بعد ما هاجر بعض الخزافين الصينين إلى كوريا.

### الأسرة الحاكمة سيلا Silla (٥٧ق.م-٩٣٥م)

وجدت الأوانى المبكرة (لسيلا Silla) من الخزف الحجرى الرمادى اللون الصلد، بأشكال ذات قاعدة مرتفعة بزخارف مفرغة وأغلبها يستخدم فى أوانى طقوس الدفن كما كانت فى أشكال من تماثيل صغيرة فى محاكاة الأشكال الطبيعية.

وجدت بعض أوانى (سيلا) تشابه بدرجة كبيرة أوانى الخزف الحجرى المبكر للأسرة الحاكمة (هان Han) فى الصين وهى من الخزف الحجرى المتزجج ذو طلاءات فلسبارية من المرجح إنها صنعت أيضا للطقوس الدينية.

### الأسرة الحاكمة كوريو Koryu (٨١٨-١٣٩٢)م

تأثرت تلك الفترة فى كوريا بفترات كل من (سنج Sung و يوان Yuan) فى الصين لكنها تميزت عنهما بأساليب منفردة وخاصة فى أساليب الزخرفة التى تنوعت تنوعا كبيراً.

### الأسرة الحاكمة يى Yi

بدأت عام ١٣٩٢م وبدأ معها الضعف فى المنتجات الخزفية وأستمرت خلال القرون التالية. أنتجت فى تلك الفترة بعض أوانى من الخزف الحجرى بخشونة بالغة وبتلقائية كبيرة خاصة فى عمل الزخارف (شكل رقم ١٢).

كما ظهرت عيوب كثيرة بالفخار مثل الالتواء أو التصاق الرمل بالطلاء الزجاجى عند قاعدة الإناء.

## جـ- الهند الصينية Indo-China

وجد الكثير من الفخار القديم فى الجزء الجنوبى الشرقى من آسيا والذى يعرف بالهند الصينية Indo-China وفيما يلى أمثلة لبعض نوعيات الخزف الحجرى التى ظهرت بها.

(آنام Annam و تونكينج Tonking) والتى تعرف الآن بشمال فيتنام- وجدت أوانى من الخزف الحجرى الرمادى اللون فى أشكال شائعة من قدور بأحجام كبيرة أو صغيرة مزخرفة عادة

بطريقة الحز Incised. كما وجدت بعض الأوانى تقترب من خواص البورسيلان بإسلوب متميز يغلب عليه اللون الأزرق الداكن.

(كمبوديا Cambodia – الأسرة الحاكمة خمير Khmer) – وجدت بعض القدور من الخزف الحجرى ذو الطلاء الزجاجى الجيد بلون بنى مائل للاصفر.

خزف (سيام Siam - تايلاند Thailand) – وجدت أشكال ذات قيمة عالية من الخزف الحجرى الصلد خشن رمادى فاتح وبأشكال تمتاز بالبساطة والقوة معا وخاصة فى أشكال من قدور أسطوانية تستخدم فى تخزين السوائل.

## د – اليابان

كان للفخار الكورى تأثيراً كبيراً على الفخار اليابانى وذلك بإنتقال الكثيرمن القيم الثقافية من كوريا إلى اليابان، والذى إتضح فى التأثير الكبير فى صناعة الخزف الحجرى فى الفترات المبكرة، كما تأثر أيضا بالفخار الصينى وأساليبه إلا أنه كان أكثر شبها بالكورى عنه بالصينى، لكنه تطور وإمتاز بخصائص مميزة وأساليب منفردة كما فى أسلوب (الراكو Raku) وهو فخار ذو طحن خشن وشكل بسيط وبأسلوب حريق خاص يعطى تأثيراً متميزاً وفريداً فى حرية التعبير، وأستخدمت تلك الطريقة فى كلا من منتجات الخزف الأرضى أو الخزف الحجرى والذى كان بلون أسود محمر وغالبا ما ترك بدون طلاء. وعن تطور الخزف الحجرى فى اليابان ما يلى:

### سيو Sue (١٠٠–٥٠٠)م

صنع الفخار فى فترات (سيو) فى اليابان يماثل كثيراً أوانى (سيلا Silla) فى كوريا – فى أوانى خزف حجرى رمادى اللون صلد، وغالباً بأشكال ذات قاعدة مرتفعة على سطحها بقع من طلاء سيلادونى (أخضر مائل إلى الرمادى) قد يكون ناتج من تطاير رماد الوقود داخل الفرن أثناء حريق المنتجات.

ثم تحسنت الأساليب نتيجة للتأثير الصينى فى فترة (تانج T'ang) حيث بدأ خزافى اليابان فى عمل أوانى ذات طلاء زجاجى وإنتاج ما يعرف بالخزف الحجرى الحقيقى.

### هيان Heian (٧٩٤–١١٨٥)م

قل تأثير الصينيون فى منتصف فترة (هيان) على الفنون اليابانية عامة وبدأ الأسلوب المميز فى الظهور مرة أخرى، وأصبح الخزف الحجرى فى أنواع راقية ذات طلاء رماد Ash Glaze.

وفى القرن الثانى عشر أصبحت (سيتو Seto) إحد الأماكن اليابانية الهامة فى صناعة الخزف وخاصة الأوانى المتزججة (شكل رقم ١٣أ) والتى ظهرت فى أشكال عديدة تشمل قدور وأباريق وأوانى Bottels، وإنتقال عادات مراسم تناول الشاى من كوريا إلى اليابان فى نهاية القرن السادس عشر إنتقلت الأشكال الخاصة بها والتى تحسنت كثيراً باليابان.

## إيدو Edo (١٦١٥-١٨٦٨)م

بدأت فترة من النهضة الفنية بفترة (إيدو) مع ظهور الطابع اليابانى فى الفنون عامة وفى فن الفخار والخزف خاصة. وبدأ فى تلك الفترة صناعة الأوانى المتزججة فى مجال كبير والتى صنع أكبر جزء منها فى (ساتسوما Satsuma) وغالبا ما تميزت بتأثيرات الطلاء المرقش أو غير المنتظم (شكل رقم ١٣ ب).

## الخزف الحجرى الحديث باليابان

وجد باليابان العديد من الخزافين الذين يعملون فى مجال الخزف الحجرى والتى تتميز أعمالهم بأساليب متنوعة منهم:

### شوجى هامادا Shoji Hamada (١٨٩٤-١٩٧٧):

تنحصر أعماله فى الخزف الحجرى المتزجج المميز بأسلوب خاص من الأشكال البسيطة ذات الإستعمال اليومى مثل الأطباق وأوانى الشاى وأوانى الزهور وغيرها وفى ألوان محدوده من الرمادى وأحمر الحديد مطلية بطلاءات فلسبارية نصف معتمة حرقت فى درجات حرارة عالية.

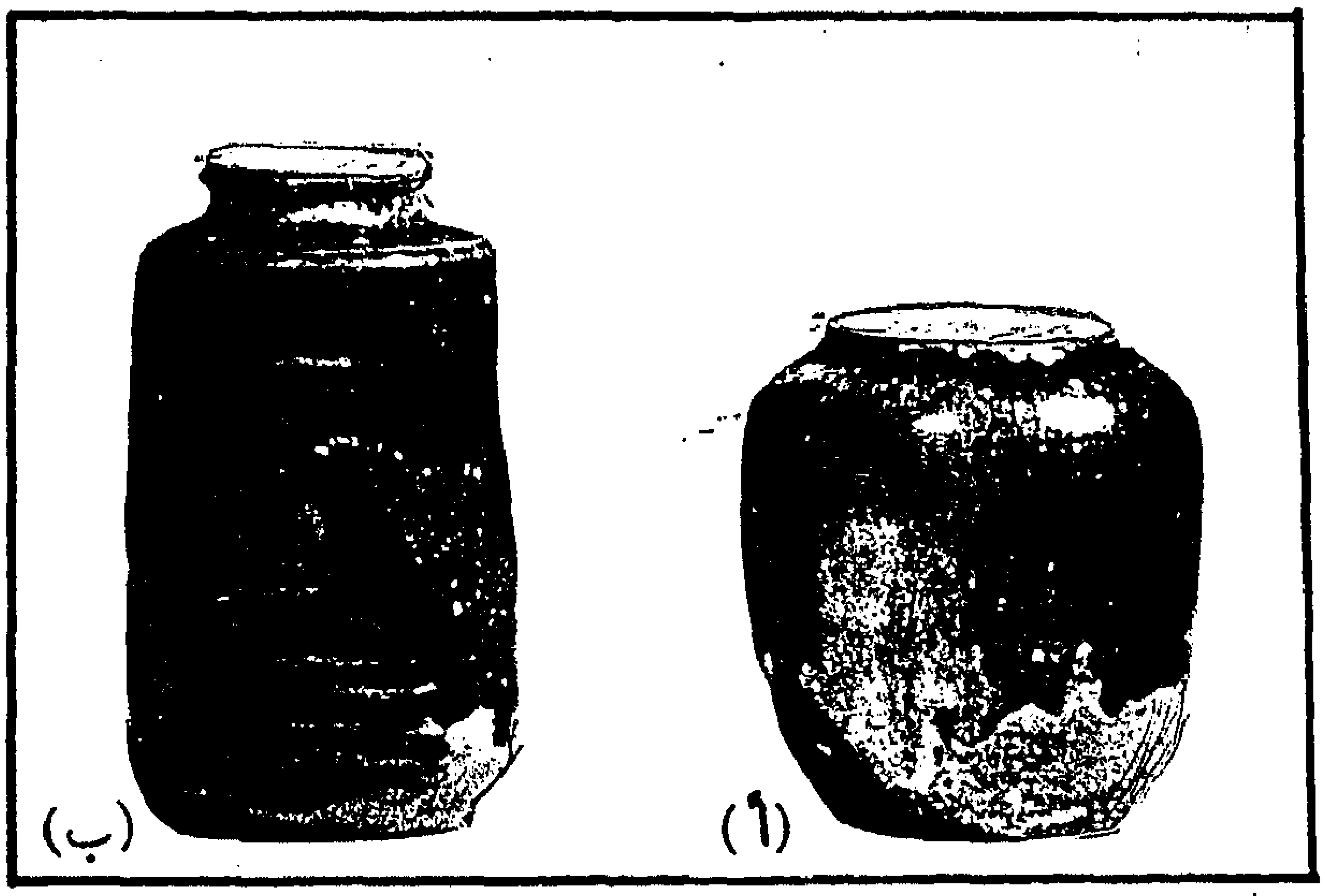
### توميموتو Tomimoto ولد عام ١٨٩٦م

ارتبطت أعماله من الخزف الحجرى بأساليب (برنارد ليتش) فى أواخر فترة وجوده فى اليابان – تميزت أعماله بأسلوب الرسم بالفرشاة على سطح الإناء.

### هاجيم كاتو Hajune Kato

تنحصر أعماله فى الخزف الحجرى والبورسيلان بأساليب عديدة متنوعة ومنها الرسم فوق الطلاء Over Glaze.

شكل رقم ( ١٢ ) : كوريا ـ ( يى Yi ).




شكل رقم ( ١٣ ) : اليابان ـ ( أ ) سيتو ، (ب) ساتسوما .

## ثانياً: أوروبا

لم تمر منتجات الخزف الحجرى والبورسيلان فى أوروبا بمراحل تطور المنتجات الخزفية المتزججة بالشرق الأقصى حيث يعتبر ظاهرة حديثة نسبيا.

### أ- ألمانيا

هى المكان الأول لوجود الخزف الحجرى فى أوروبا حيث بدأ منذ القرن الثانى عشر بلون رمادى مزرق أو بنى محمر أو أصفر أوكر .(شكل رقم ١٤) إلى أن أنتج خزف حجرى حقيقى ذو طلاء ملحى فى القرن الرابع عشر، والتى تلائم الأوانى الخاصة بتناول البيرة حيث إشتهرت ألمانيا بأرض البيرة، والتى صنعت فى أشكال من قدور مختلفة (Jugs, Mugs, Jars) وأباريق وزجاجات وقدور كبيرة لحفظ البيرة.

قامت أغلب المصانع الهامة لإنتاج الخزف الحجرى فى وادى نهر الراين حيث إمتاز بطفلات الخزف الحجرى وخاصة من كوبلنز Coblenz إلى كولون Cologne والتى تنوعت فى درجة النقاء وتنوع تبعا لها لون المنتج بعد الحريق من ألوان الرمادى والأصفر والأحمر والأزرق كذلك الأبيض فى النوع النقى، وقامت تلك المصانع فى أماكن رئيسية ومن خصائص بعضها ما يلى:

### كولون Cologne (كولن Köln)

وجدت قدور متنوعة الأشكال والزخارف من الخزف الحجرى فى كولون منها ما يسمى (قدور الرجل ذو اللحية الرمادية Grey Beard) (شكل رقم ١٥ ب) وهى قدور كروية الشكل بعنق أسطوانية مشكل عليها رأس رجل عجوز ذو لحية مع زخارف خاصة بالطقوس الدينية التى شكلت فى مساحات دائرية، كما ظهر بعض الأوانى الأخرى مزخرفة بأشكال Figures من موضوعات تاريخية أو دينية أو من علم الأساطير.

### فريخن Frechen

صنعت قدور مشابهه تماما لأوانى كولن من قدور الرجل ذو اللحية الرمادية إلا أنها كتب عليها بعض العبارات بدلا من الزخارف المتشعبة لأوانى كولن أو بإستخدام زخارف نباتية.

### إيجلشتن Eigelstien

كانت أجسام الخزف الحجرى فى إيجلشتن رمادية اللون بأشكال متنوعة من الشكل الأسطوانى الطويل شكل بعضها بمصب وزخرف بعضها بلوحات ذات رسوم قليله فى منتصف كل منها وحدة زخرفية دائرية.

## سيجبرج Siegburg

أنتج الكثير من أوانى الخزف الحجرى فى سجبورج بطينات بيضاء نقية غير مطلية أو ذات طلاء أزرق عادة، وفى أشكال متنوعة من أوانى إسطوانية طويلة إلى قدور كبيرة بمقابض، كذلك أوانى وقدور البيرة، وصنع أيضا قدور بمصب يرتفع من الجسم الكورى إلى إرتفاع عنق الإناء (شكل رقم ١٦).

كما عمل بعض الخزافين بسجبورج فى مجال الخزف الحجرى وإنتاج نوعيات مميزة أمثال (كنوتجن Knuetgen وبيترلوينش Peter Lowenich).

## رارين Raeren

تميزت قدور (رارين) بدرجة غامقة من اللون البنى عن الأوانى المشابهة فى كل من سيجبرج وكولون.

وظهر العديد من الخزافين بأعمال متنوعة وإمتاز كل منهم بإسلوب خاص مثال هبرت شيفر Hubert Schiffer الذى شكل عام ١٨٨٠ أوانى جيدة ومميزة تماما منفذة بطرقة الصب فى القالب.

## فيسترفالد Westerwald

من الصعوبة التمييز بين منتجات فيسترفالد والأماكن القريبة منها وذلك لإستخدام نفس الطفلة لإنتاج أوانى الخزف الحجرى كذلك محاكاة بعض التصميمات المعاصرة لها مثلما فى كولن وسيجبورج ورارين.

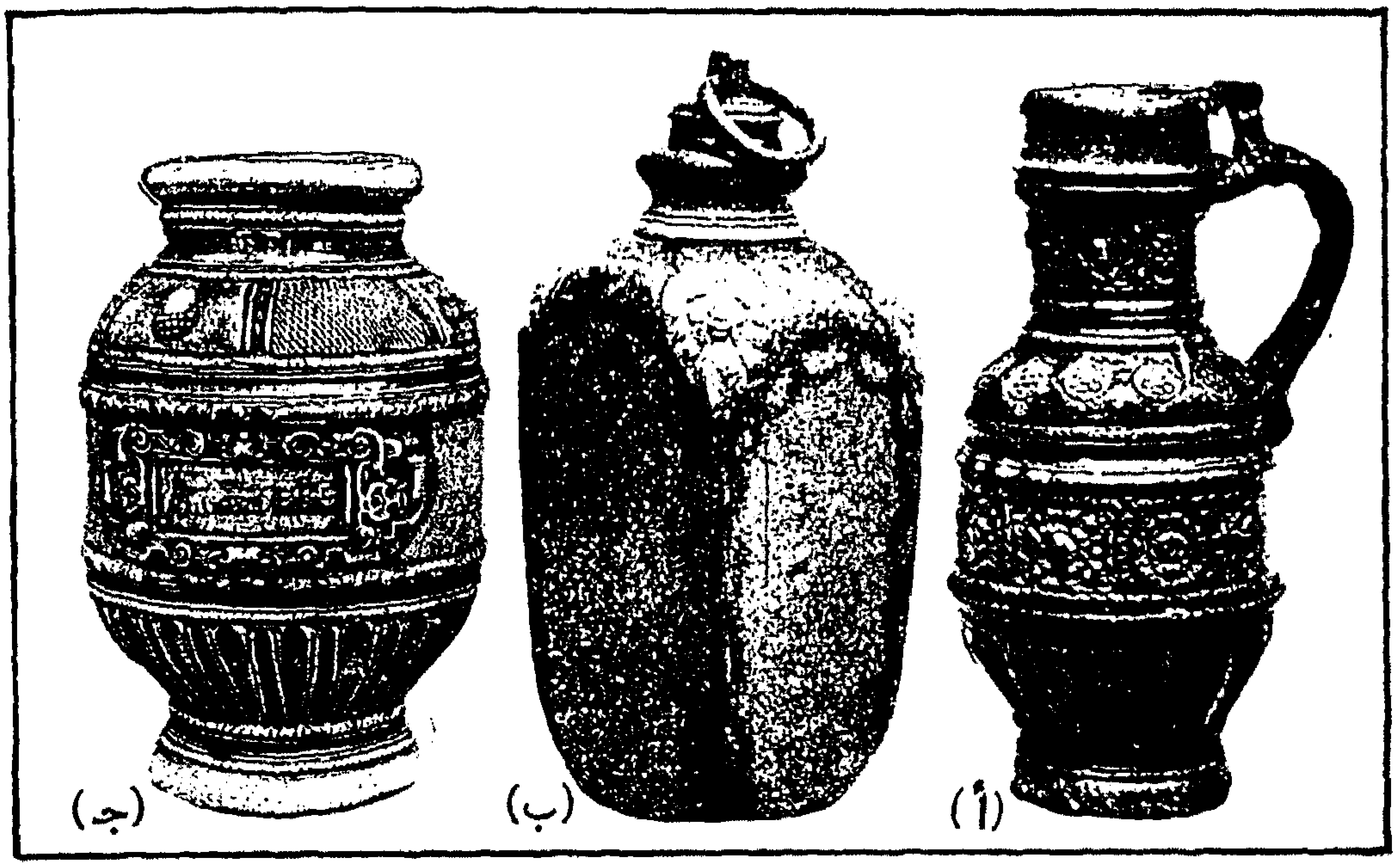
وفقدت الأوانى فى فيسترفالد الإحساس بتأثير يد الخزاف على القطعة الخزفية وذلك بإستخدام الطبعات المعدنية فى تشكيل الأوانى على دولاب الخزف وفى تطبيق الزخارف (شكل رقم ١٧).

زاد الاهتمام بمنتجات الخزف الحجرى خلال القرنين السادس عشر والسابع عشر، مما أدى إلى بعض الحيوية فى تصميمات الأوانى التى تنوعت وتطورت خلال القرون المختلفة والأماكن المتعددة، وخاصة عند إنتقال ظاهرة تناول الشاى والقهوة إلى أوروبا، وأختلفت نوعيات الأجسام التى تصنع منها تلك الأوانى فكان يفضل فى البداية إستخدام المعادن من الفضه وغيرها فى عمل أوانى القهوة واستخدام الخزف الأرضى لإنتاج أوانى الشاى، ثم إتجه إهتمام الشعب الألمانى خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر إلى كل من الفاينس Faience والبورسيلان، وجدت بعض التصميمات الجيدة (خلال القرن الثامن عشر) لأوانى قهوة من الخزف الحجرى والأرضى ثم ظهرت بعض أعمال الخزافين (خلال القرن التاسع عشر) فى عمل أوانى الشاى من الخزف الحجرى.

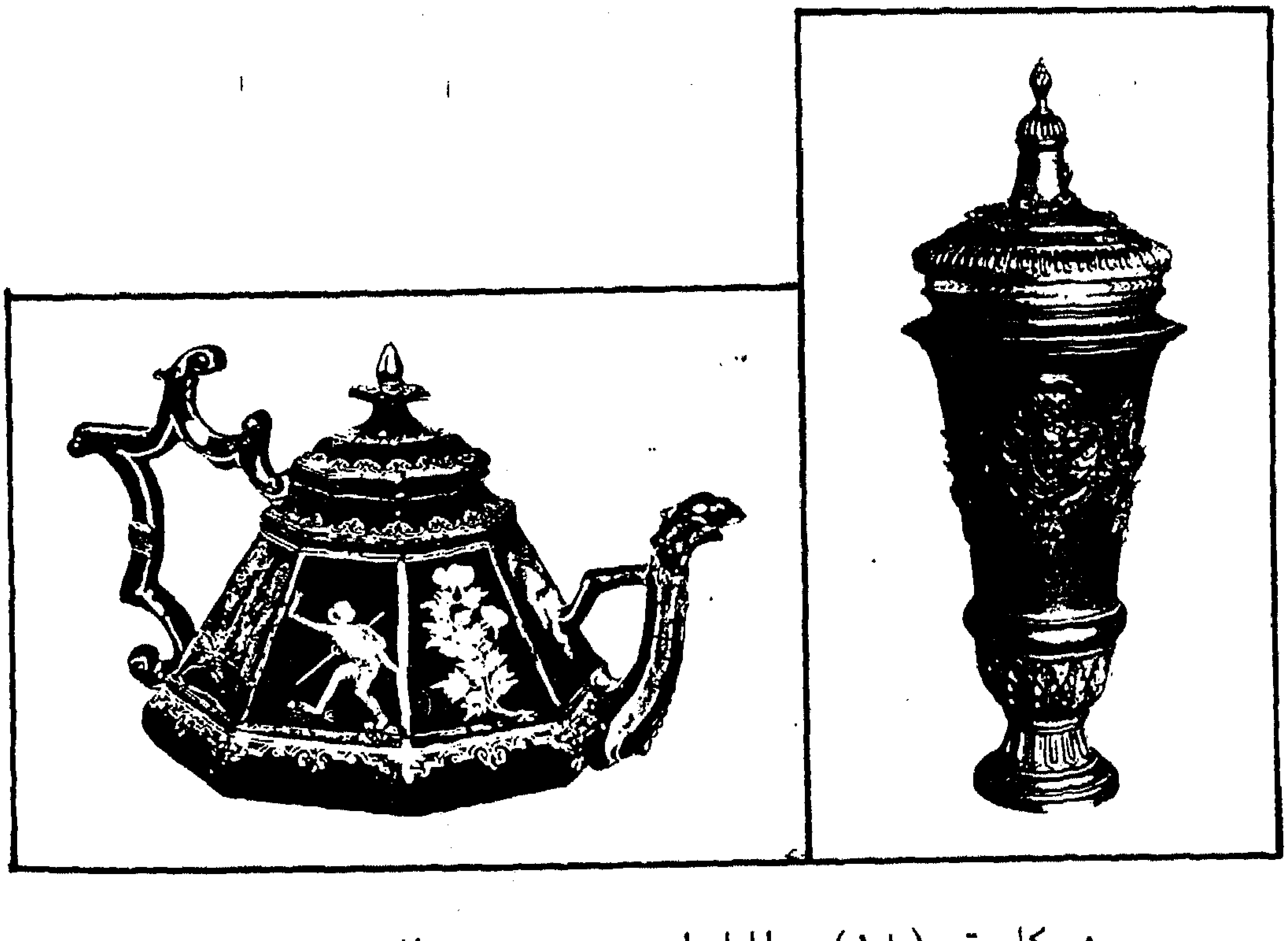
شكل رقم (١٤) : المانيا ـ (أ) ١٣٠٠م ، (ب) ١٢٠٠م .

شـكل رقم (١٥) : المانيا ـ (أ) القرن ١٦ ، (ب) حوالى ١٥٣٠م
(جـ) بدايه القرن ١٥ ٠

شـكل رقم (١٦) : المانيا ـ سيجبرج ـ (أ) ١٥٥٩م ، (ب) القرن ١٥
، (جـ) ١٥٩٠م ٠




شـــكل رقم (١٧) : المانيا ـ فيسترفالد ـ (أ) القرن ١٢ ،
(ب) بدايه القرن ١٧ ، (جـ) القرن١٧ .



شـــكل رقم (١٨) : المانيا ـ بوتجـرـ حوالى ١٧١٥ م .

## الخزف الحجرى الحديث فى ألمانيا

وجدت أمثلة كثيرة لبعض المصانع من ألمانيا التى تنتج خزف حجرى بأساليب مميزة منها.

**مصنع جوليوس تشارفاجل Julius Scharvagel** الذى أقامه فى ميونخ عام ١٩٠٠ لإنتاج نوعيات من الخزف الحجرى.

**جوهان فريدريك بوتجر Johann Friedrich Bottger**

كان الإنتاج الأول لمصنعه مشابها كثيرا للخزف الحجرى الصينى، ثم أنتج نوع من الخزف الحجرى الصلد بعد الحريق بخلط نوعان من الطفله، وتشكيل العديد من الأشكال والتصميمات الخاصة بأوانى الشاى والقهوة وأوانى السكر وأوانى الزهور وقدور البيرة (شكل رقم ١٨) وأستخدم بعض الأساليب مثل تشكيل الزخارف منفصله ثم تلصق على الاناء.

## هيرمان موتز Herann Mutz

أنتج حوالى عام ١٩٠٠م خزف حجرى جيد بطلاءات مميزة كذلك أنتج إبنه ريتشارد أعمالا مشابهة فى المصنع الذى أقامه عام ١٩٠٤.

ويوجد الكثير ممن يشكلون مكانة كبيرة من الخزافين الألمان والذين عملوا فى مجال الخزف الحجرى مثال

| | |
|---|---|
| جان بونتجيه فان بيك | Jan Bontjes Van Beek |
| وستيفان إردوس | Stephan Frdos |
| أوتوهولت | Otto Hohlt |

## ب- فرنسا

كان خزافى (بوفيه Beauvais) أول من عمل فى مجال الفخار المسامى الصلد فى فرنسا والذى يعرف بالخزف الحجرى، وذلك فى نهاية القرون الوسطى حيث وجدوا الخامات الملائمه وأستمر إنتاجه إلى ١٨٤٠ تقريبا فى المنطقة القريبة من (بوفيه) بطلاءات ملحية تقليدية.

كما بدأت أيضا صناعة الخزف الحجرى فى منطقة (بوسيه Puysaie) من القرن السادس عشر إلى الثامن عشر فى أشكال مزخرفه بحفر بارز تتميز غالبا بدرجة غامقة من اللون الأزرق.

كذلك وجد أيضا مركزا آخر لصناعة الخزف الحجرى فى فرنسا يعرف بإقليم (بيرى Berry) حيث بدأ فى القرن السادس عشر إنتاج أوانى صلده بلون رمادى من الخزف الحجرى ذو الطلاء الملحى والذى ظل الكثير من إنتاجه حتى القرن التاسع عشر.

## الخزف الحجرى الحديث فى فرنسا

يتشابه الخزف الحجرى الحديث فى فرنسا مع البورسيلان حيث الفارق بينهما يرجع إلى درجة شفافيه الجسم.

ومن الخزافين الفرنسين الكثير ممن عملوا فى مجال الخزف الحجرى وأمتاز كل منهم بإسلوب مميز ينفرد به عن الآخرين مثال لذلك ما يلى:

### إرنست تشابلت Ernest Chaplet (١٨٣٥-١٩٠٢)م

تميز بتشكيل أوانى من الخزف الحجرى بطريقة التشكيل اليدوى بألوان من الأزرق والرمادى والبنفسجى وأحمر النحاس.

### أوجست ديلارش Auguste Delaherche

أستخدم إسلوب الطلاءات السياله Running Glazes على أوانيه، والتى تطبق أحيانا فوق زخارف بارزه (شكل رقم ١٩).

### إيميل لينوبل Emile Lenoble

زخرف أوانيه ببطانات Engobes (شكل رقم ١٩أ) وزخارف بخطوط مستقيمة وطلاءات زجاجية ذات ألوان متنوعة من بنى غامق ورمادى وأخضر وأحمر برتقالى وأبيض.

### إيميل ديكور Emile Decoeur

استخدم طلاءات زجاجية ذات ألوان أصفر مائل إلى البنى أو أزرق رمادى أو أخضر لطلاء أوانى خزف حجرى ذات حفر بارز قليلا (شكل رقم ١٩ ب).

## ج- انجلترا

كان أول إنتاج للخزف الحجرى بإنجلترا حوالى عام ١٦٨٠ فى قريه فولهام Fulham بالقرب من لندن، من فخار جون ديويت John Dwight الذى تنوعت أعماله بين الخزف الحجرى غير المطلى ذو لون محمر أو أبيض بشفافية جزئية، مع إستخدام الطلاء الملحى فى طلاء منتجاته (شكل رقم ٢٠) التى سرعان ما إنتشرت فى أشكال من قدور وأباريق وقدور شاى، وبطابع انجليزى بالرغم من تشابهها مع بعض الأساليب الألمانية والتى كان لها التأثير الكبير فى إنجلترا خلال القرنين السادس عشر والسابع عشر وظهرت بعض الأشكال لجون ديويت مشابهة لأوانى الخزف

الحجرى الألمانى فى (فريخن Frechen وكولون) كما فى أوانى الرجل ذو اللحية الرمادية Grey Beards.

وإستمر فخارى فولهام Fulham بعد وفاة جون ديويت عام ١٧٠٣ فى إنتاج أنواع مماثلة لأعماله إلى أن حدث تحسن كبير فى إنتاج الخزف الحجرى عندما توصل الاخوان ايلرز Elers Brothers لإسلوب الطلاء الملحى وعمل أوانى مشابهه لأعمال "جون ديويت".

كما إنتشرت الأوانى المتزججة ذات الطلاء الملحى فى ستافورد يشير Staffordshire التى كانت تعتبر مركزا هاما للخزف الأرضى (شكل رقم ٢١).

كذلك ظهرت نوعيات مختلفة من الخزف الحجرى فى أماكن عديدة من إنجلترا، كما فى نوتنجهام Nottingham فى إنتاج خزف حجرى ذو طلاء ملحى بدرجات من ألوان البنى القاتم أو المائل للإحمرار بلمعة معدنية بالإضافة إلى الأشكال التى توحى للمعدن بسمكها الرفيع، كذلك نسخت بعض الأعمال المشابهه بدرجات متفاوتة فى كل من ميدلاندز Midlands وسوينتون Swinton.

تميز مركز فينتون لو Fenton Low بأنواعاً عديدة وكثيرة من الخزف الحجرى والأرضى وغيرها والذى تبين من مذكرات الخزاف الكبير توماس ويلدون Thomas Whieldon التى شملت توضيحا لأنواع متعددة مختلفة من نوعيات الخزف منها خزف حجرى أحمر وأبيض ذو طلاء ملحى كذلك خزف حجرى إسود.

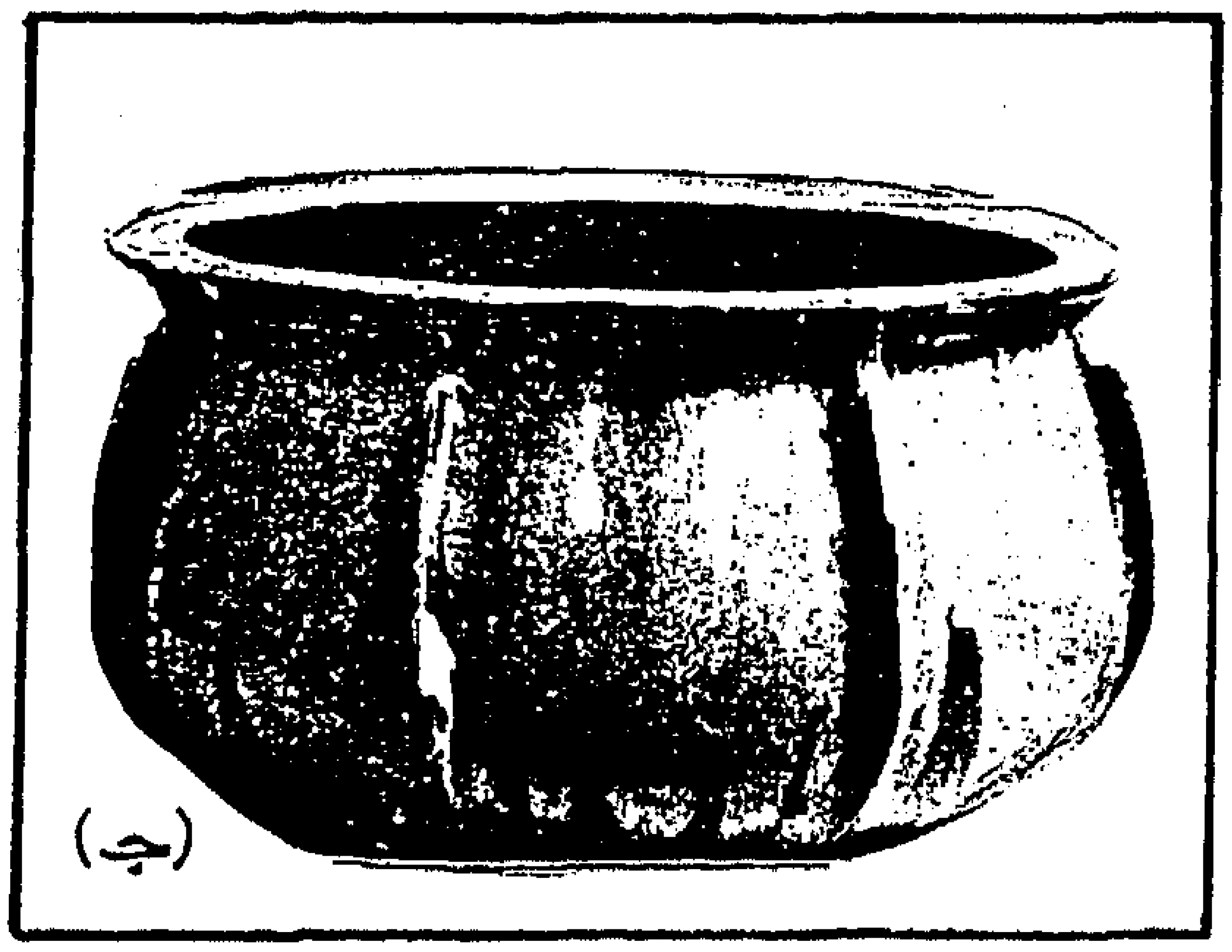
عمل العديد من الخزافين مع توماس ويلدون منهم جوزيه سبود Josiah Spode وجوزيه ودجوود Josiah Wedgwood واللذان اصبحا رائدان فى الخزف الحجرى فى العالم، وكان لودجوود (١٧٣٠-١٧٩٥) أكبر الأثر على تطور صناعة الفخار والخزف عامة والتى شملت أغلب المراحل الصناعية التى تعرف اليوم.

بدأ جوزيه ودجوود حوالى عام ١٧٤٧ فى عمل أجسام خزفية بتركيبات مختلفة عن السابقة له، كما أجرى إختبارات على الطلاءات الملحية عند مشاركته لمصنع ويلدون Whieldon فى الفترة ما بين (١٧٥٤-١٧٥٩).

وفى عام ١٧٦٢ بدأ ودجوود فى إنتاج بعض الأعمال المميزة مثل ما يعرف بأعمال الجرس Bell Works فى مصنع بريك هاوس Brick House وحيث بدأ أيضا إنتاجه من الإناء الأسود الذى أعاد تسميته (بإناء البازلت Basalt Ware) وهو من الخزف الحجرى الاسود اللون بدون طلاء الذى استخدمه فى إنتاج أوانيه المبكرة من أوانى الزينة كما بدأ إنتاجه فى هذا المصنع من الخزف الحجرى الأحمر.

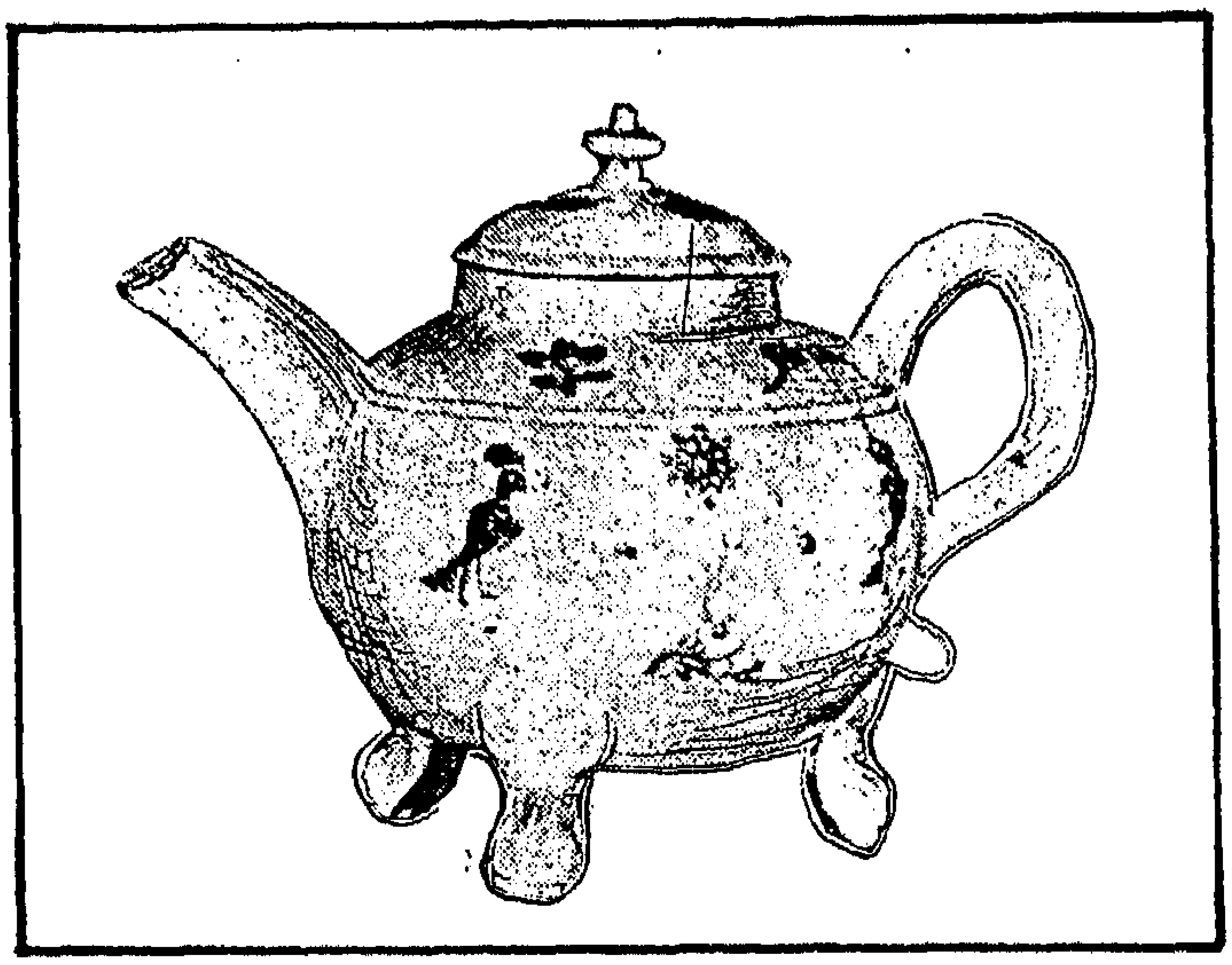
(أ)

(ب)


(جـ)

شكل رقم (١٩) : فرنسا (أ) اميل لينوبل ، (ب) اميل ديكور ، (جـ) اوجست ديلاروش .

شكل رقم (٢٠) : انجلترا ـ فالهام ـ ١٧١٥ م .



شكل رقم (٢١) : انجلترا ـ ستافورد شير ـ بدايه القرن ١٨ .

وبدأ ودجوود فى مصنع إتروريا Etruria منذ عام ١٧٧٤ فى إنتاج خزف حجرى راقى متزجج غير مطلى يسمى (جاسبر Jasper) قابل لتلوينه بالأكاسيد المعدنية من خلال الجسم الخزفى أو بطبقة ملونه على سطح الإناء فقط.

وعادة ما يزخرف هذا النوع من الخزف الحجرى ببعض الإشكال Figures بلون أبيض فى تباين مع لون الجسم (شكل رقم ٢٢) الذى يتنوع من أزرق شاحب Pale Blue والذى يعرف بازرق ودجوود Wedgwood Blue كذلك أزرق غامق وأخضر ساجى Sage Green، وأحمر فاتح Lilac أو أسود، وإختلف إناء الجاسبر الأسود Black Jasper عن إناء البازلت Basalt ware فى أن البازلت زخرف بأشكال سوداء اللون، أما الجاسبر زخرف بوحدات من أشكال بيضاء اللون أو بألوان أخرى متباينة معه.

كما شمل إنتاج مصنع ودجوود فى بارلستون Barlaston كل من منتجات الخزف الحجرى والأرضى Earthenware فى أشكال لأوانى نفعية أو أوانى زينة.

وعامة فإن ودجوود له التأثير الكبير على صناعة الخزف الحجرى فى العالم كذلك يعتبر أول من نجح فى إنتاج أوانى مائدة فى كميات كبيرة لتدخل عمليات شراء شعبى ولتصديرها إلى أوروبا والولايات المتحدة الامريكية.

**بعض خصائص أوانى ودجوود من البازلت Basalt والجاسبر Jasper**

سمى الخزف الحجرى الأسود غير المطلى بالبازلت أو الأسود المصرى Egyptian Black وأستخدم فى أوانى الزينة وعمل تماثيل نصفية بحجم طبيعى ووحدات البورتريه Portrait Medallions ولوحات بحفر بارز وفى تقليد بعض قطع الأحجار ذات النقش البارز وبعض القطع الأثرية كما فى تقليد ودجوود للوحة فرعونية من البازلت الأسود المطلى بالذهب، كذلك أستخدم إناء البازلت فى بعض الأوانى النفعية مثل أوانى الشاى والقهوة وأوانى الزهور وبعض الأشكال الأخرى.

صنع ودجوود عددا من مقلدات الأحجار الطبيعية الأخرى منها الجاسبر Jasper والذى أطلق عليه (إناء ودجوود) وهو من الخزف الحجرى الراقى المتزجج غير مطلى وإمتاز بلون أزرق يعرف ايضا (بأزرق ودجوود) وأستخدم إناء الجاسبر فى أغراض عديدة (شكل رقم ٢٣) وبأشكال متنوعة من الأوانى وبعض وحدات البورترية كذلك بعض قطع الإستخدام الشخصى مثل الحلى والميداليات (شكل رقم ٢٤) وما شابهها كما استخدم الجاسبر بجانب البازلت فى محاكاة بعض القطع الأثرية التقليدية.

وكان الجاسبر هو آخر الإجسام الخزفية لجوزيه ووجوود الأول والذى جاء بعد سنوات من الأبحاث عن المكونات الأساسية وباكتشافه ماده خام تسمى (كيوك Cauk) عبارة عن صورة طبيعية لكبريتات الباريوم التى إستخدمها فى تركيب مع خامات أخرى لإنتاج خزف حجرى أبيض راقى، يمكن تلوينه بالأكاسيد المعدنية والتى كانت فى البداية عام ١٧٧٤ يتم خلط الأكسيد الملون مع الطفلة ليصبح اللون داخل الجسم الخزفى، ثم وجد أسلوب آخر فى تلوين أوانى الزينة بأن يغمر الجسم الخزفى الأبيض فى معلق Slip من الطفلة الملونة لتلوين السطح فقط.

وإستمر إناء الجاسبر بمواصفاته المميزة ينتج إلى الآن بنفس طرق الصناعة المستخدمة منذ القرن الثامن عشر.

وجد العديد من الخزافين ممن نسخوا قطعا مشابهة لمنتجات ودجوود ومنهم من أدخل بعض التحسينات على أوانى البازلت والجاسبر، مثال لذلك جون ترنر john Turner فى مصنع (لان إند Lane End) وهنرى بالمر Henry palmer وجون نيل John Neale فى مصنع (نيل وبالمر Neale and Palmer) حيث أنتجا أوانى من الخزف الحجرى مأخوذ تصميماتها عن أوانى ودجوود، كذلك هارتلى Hartley (فى مصنع هامبل وهارتلى وجرين وشركاهم Humble, Hartley, Green & Co.) حيث ظل هارتلى يقلد أوانى ودجوود ونجح فى نشر إنتاجه فى أنحاء القارة الاوربية، كذلك أخذ فى تقليد العديد من الأحجار الطبيعية مثل البازلت والعقيق...وغيرها.

والجديد بالذكر، ظهور إسلوب متميز فى إنتاج خزف حجرى ذو طلاء ملحى بنى اللون من إنتاج مصنع (دولتونس وشركاه .Doultones & Co) عام ١٨١٥ والذى يعمل به أساتذة وتلاميذ مدرسه لامبث للفن Lambeth School of Art فكان لكل منهم مسئوليته وأسلوبه فى إختيار الشكل والزخرفة وكانت بذلك النتائج ناجحة بدرجة كبيرة.

كذلك ظهور بعض الأعمال من الخزف الحجرى الأبيض أو الأزرق (شكل رقم ٢٥، ٢٦) تمثل إستخدام بعض الزخارف المتنوعة.

## الخزف الحجرى الحديث بإنجلترا

وجد حديثاً بعض الرواد فى إنتاج فخار الحريق العالى بإنجلترا بجانب منتجات كلا من مصنعى ودجوود Wedgwood وسبود Spode من الخزف الحجرى والتى صدرت منتجاتهما إلى جميع أنحاء العالم ومن هؤلاء الرواد:

### برنارد ليتش Bernard Leach

نشأ فى الشرق الأقصى وتعلم فنونه فجاءت أعماله بأساليب شرقية، ثم بدأ بعد عودته إلى إنجلترا بعد الحرب العالمية الأولى فى إنتاج خزف حجرى عالى الحريق بإستخدام طفلة بلون رمادى أو بيج عادة، فى أشكال منتجات للإستخدام ذات طلاءات بألوان السيلادون Celadon أو الرمادى أو أحمر الحديد.

**ستيت مورى Statite Murray**

بدأ إنتاج خزف حجرى عالى الحريق عام ١٩٢٠م متميز بإنتاج منتظم لأوانى متنوعة الإستخدام.

وجد الكثير من الخزافين المعاصرين فى إنجلترا ممن عملوا فى مجال الخزف الحجرى وإمتاز كل منهم بإسلوب خاص ويتضح ذلك من معرض (الصناعات الخزفية والمنسوجات فى القاهرة عام ١٩٧٨) – حيث عرض العديد من الخزافين المعاصرين بعض أعمالهم التى تميزت بنوعيات مختلفة أغلبها من الخزف الحجرى فى أشكال وأساليب متنوعة مثال:

**لوسى راى Lucie Rie – ولدت عام ١٩٠٢**

تتسم طلاءات منتجاتها بتأثير المعدن (أنظر الشكل رقم ٢٧).

**دافيد ليتش David Leach – ولد عام ١٩١٠**

يتنوع إنتاج مصنعه من أوانى البورسيلان والخزف الحجرى فى أشكال أوانى شاى وقدور وأوانى زهور وغيرها.

**راى فينش Ray Finch – ولد عام ١٩١٥**

أنتج العديد من الأوانى المترلية فى نوعيات عديدة من الأباريق والقدور والصحون والقدور الكبيرة وغيرها من الأدوات المختلفة التى كانت تنتج من الخزف الأرضى إلى أن تغير إنتاجه لتشكيل أوانيه من الخزف الحجرى.

**كولين بيرسون Colin Person – ولد عام ١٩٢٣**

إشترك مع دافيد فى مصنع لإنتاج أوانى الخزف الحجرى للأدوات المترلية فى أشكال من أوانى طويلة أو صحون واسعه مسطحة .. وغيره (شكل رقم ٢٨).

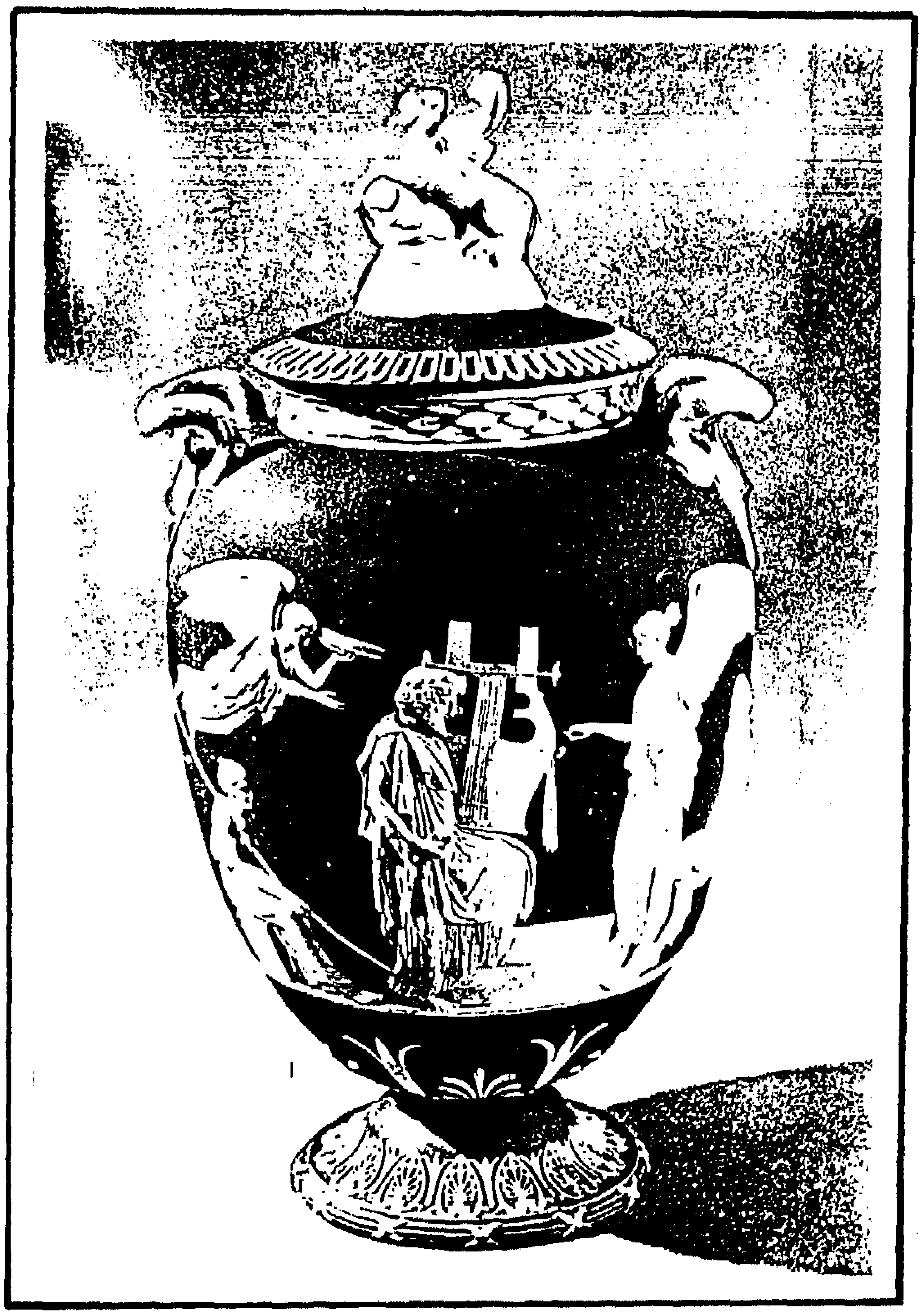
**مايكل كاسون Michael Cassohn – ولد عام ١٩٢٥**

تتسم أعماله بالحجم الكبير كالأباريق الضخمة وجرار التخزين العالية (شكل رقم ٢٩).

**ريتشارد باترهام Richard Batterham – ولد عام ١٩٣٦م**

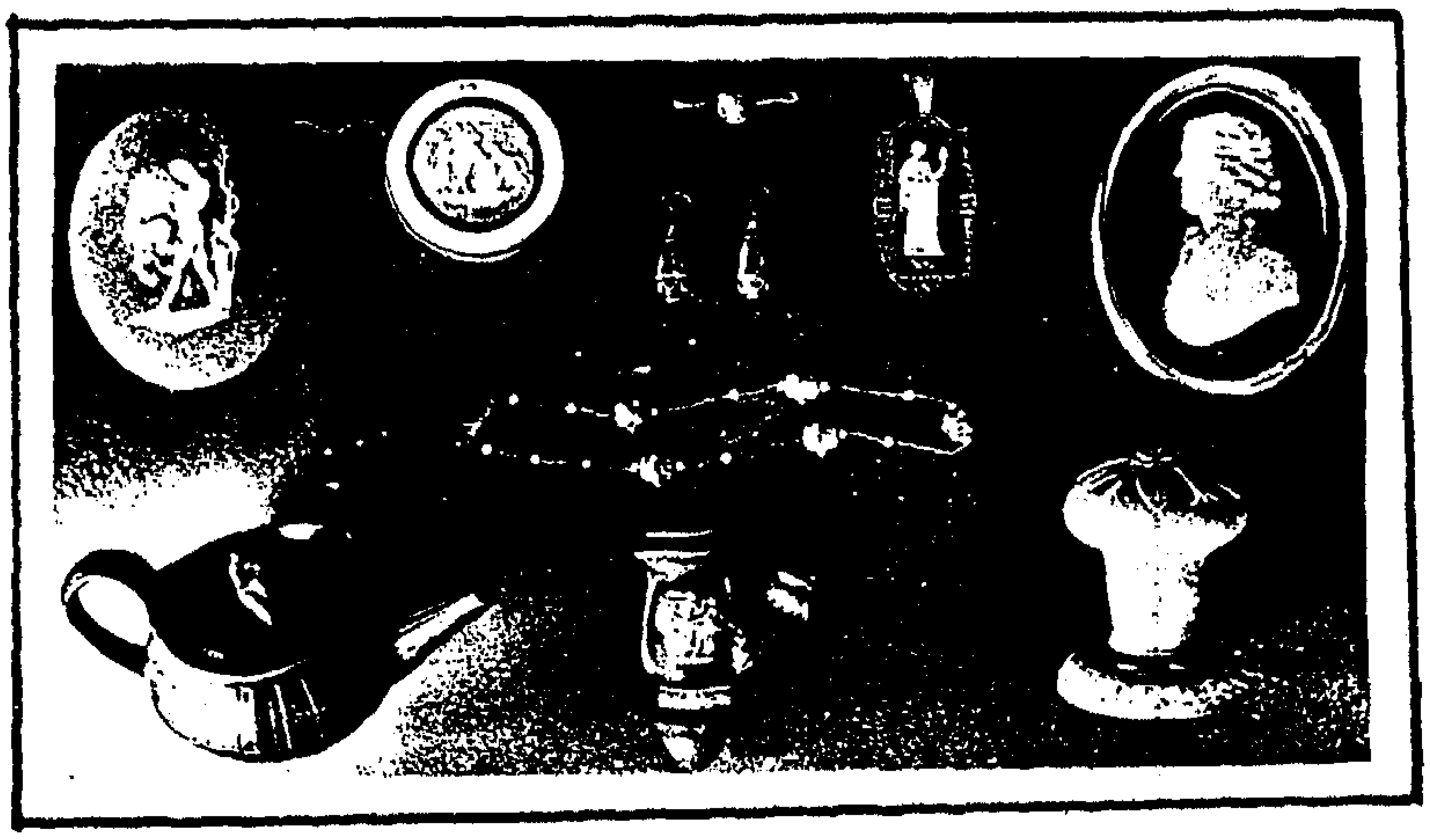
عرض سلسلة من أوانى الخزف الحجرى من القدور والأوانى Bowls وأوانى كبيرة يصل بعضها إلى إرتفاع حوالى ٦٠ سم – وتلك الأوانى بطلاءات من رماد الخشب (شكل رقم ٣٠).

وغيرهم الكثير ممن تتميز أعمالهم بإسلوب وطابع خاص فى تشكيل وزخرفة الأوانى لإنتاج إحد نوعيات الخزف الحجرى.

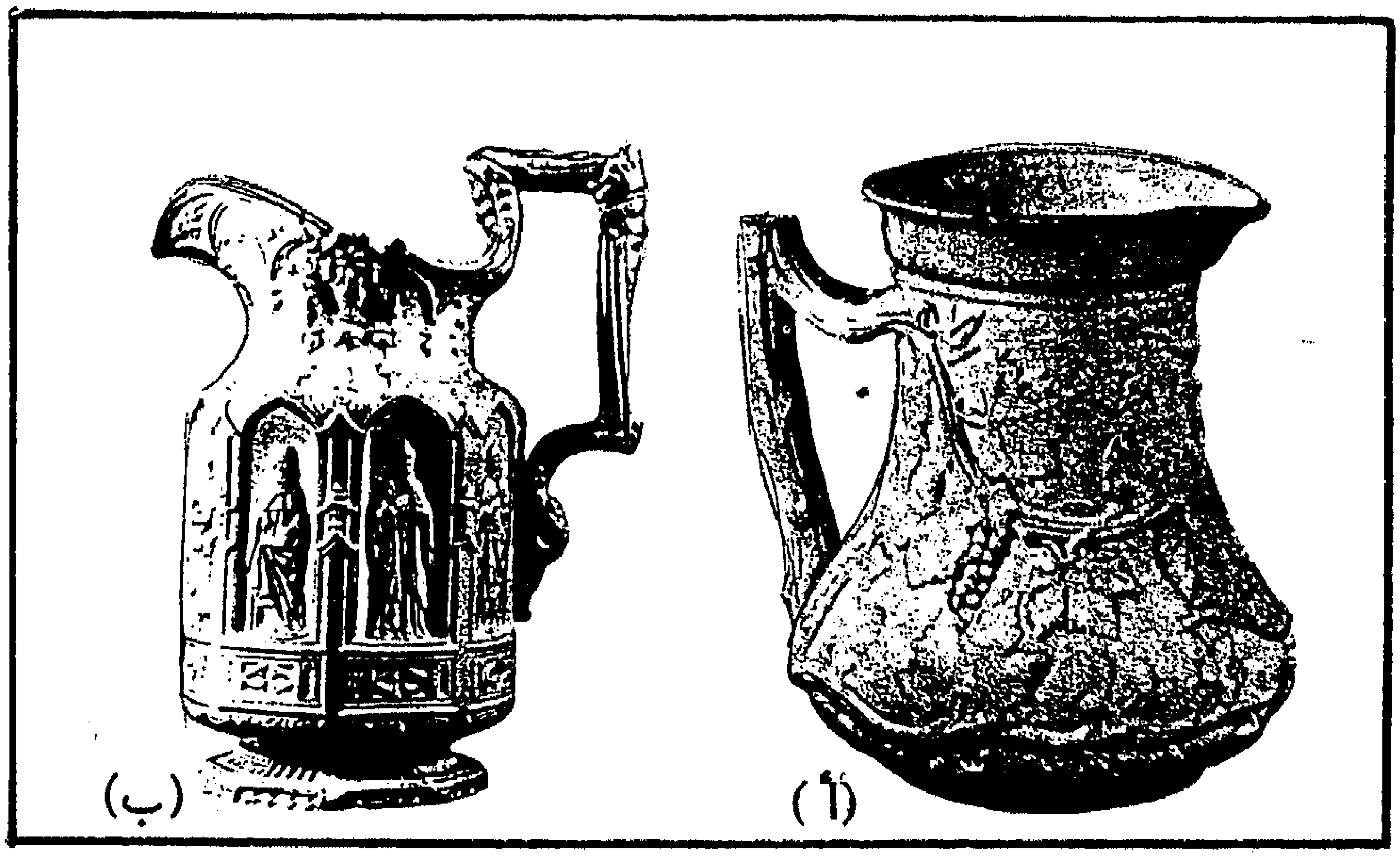


شكل رقم (٢٢) : انجلترا ـ جوزيه ودجوود ـ القرن ١٨ .

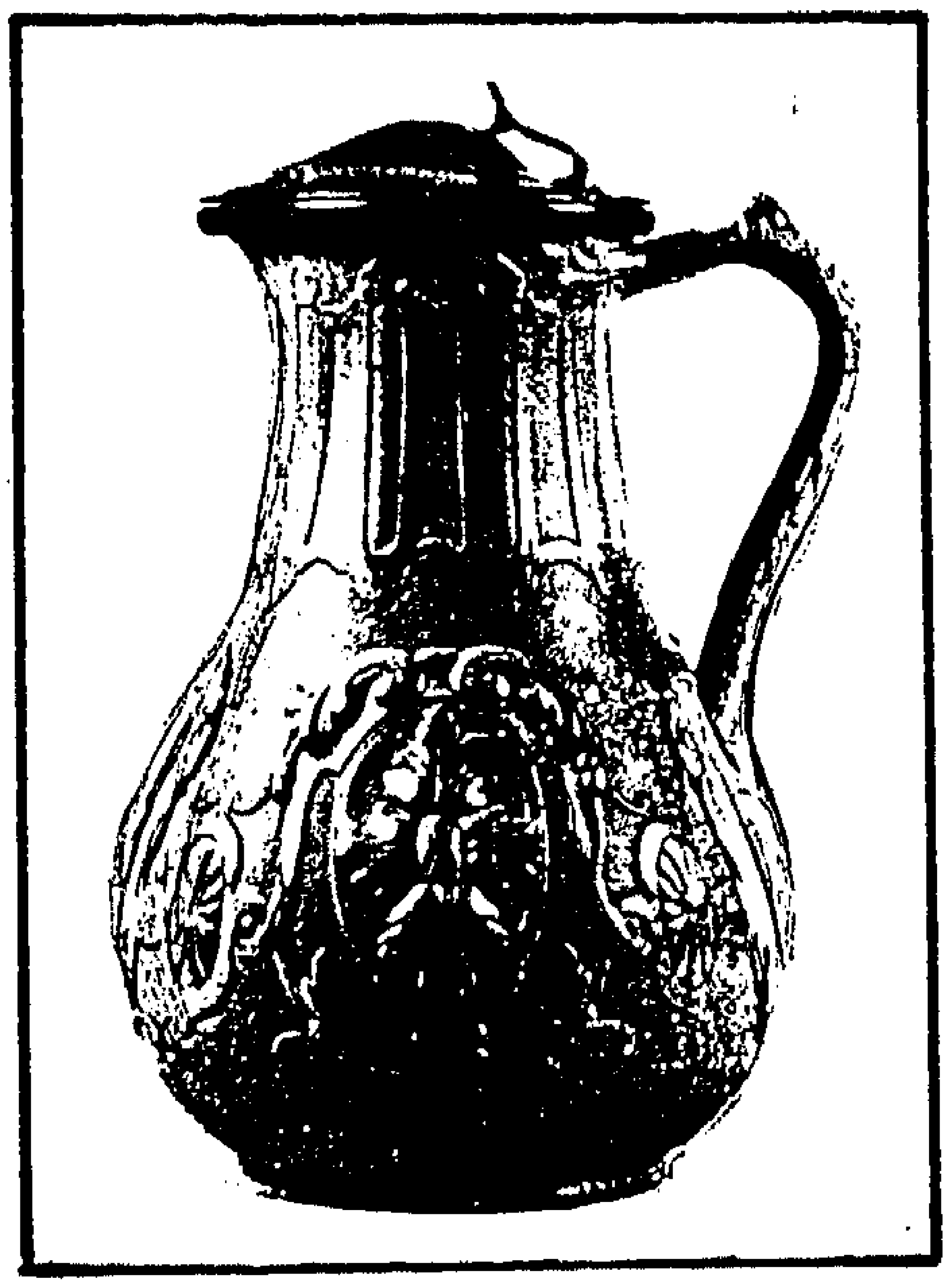
شكل رقم (٢٣) : انجلترا ــ جوزيه ود جوود (١٧٨٥ ــ ١٧٩٠)م .



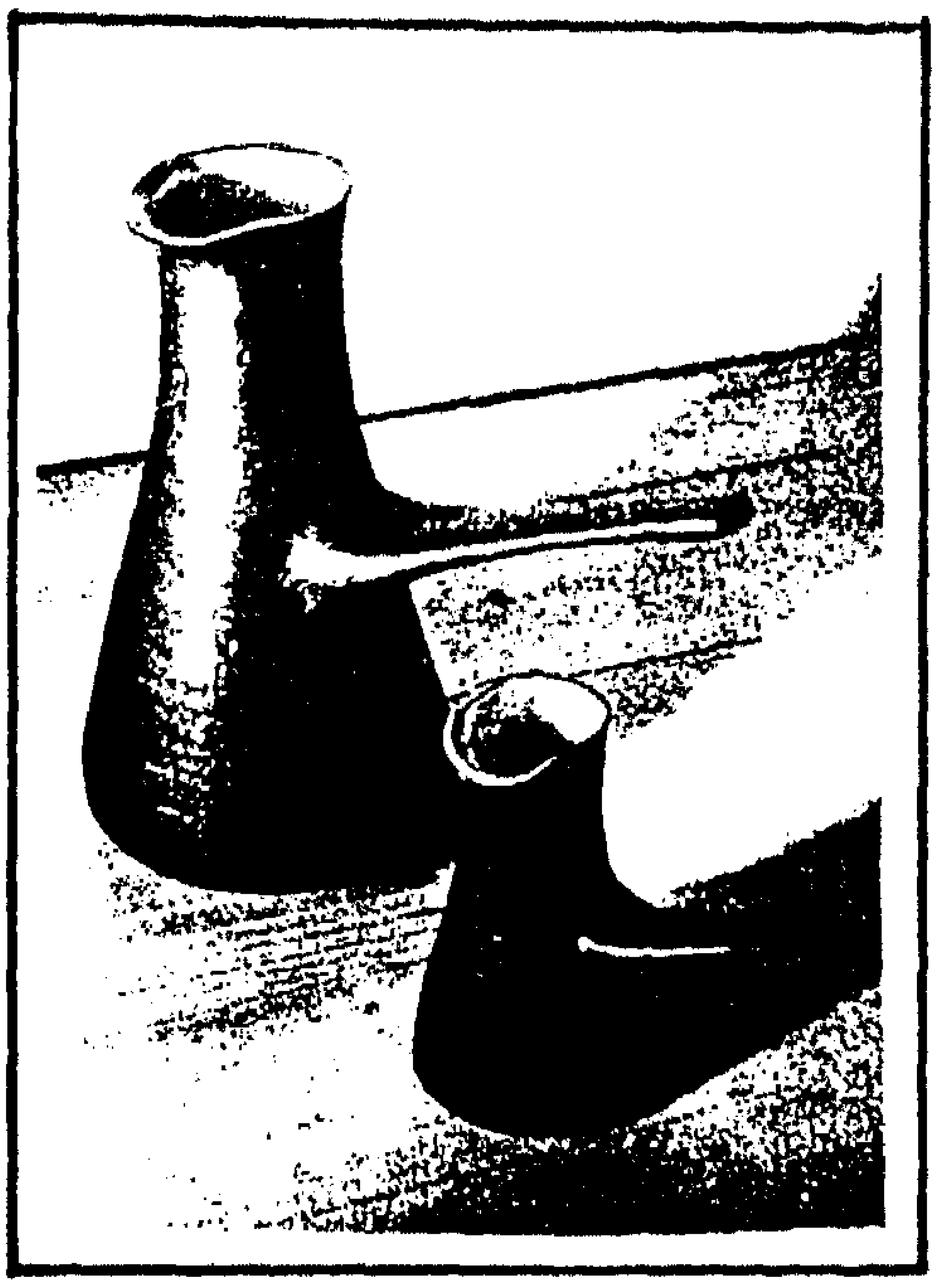
شكل رقم (٢٤) : انجلترا ــ جوزيه ود جوود ــ مجموعه من الميداليات والحلى من الجاسبر والبازلت .



شــكل رقم (٢٥) : انجلترا ــ خزف حجرى ابيض ــ (أ) ١٨٤٦م
،(ب) ١٨٤٢م .

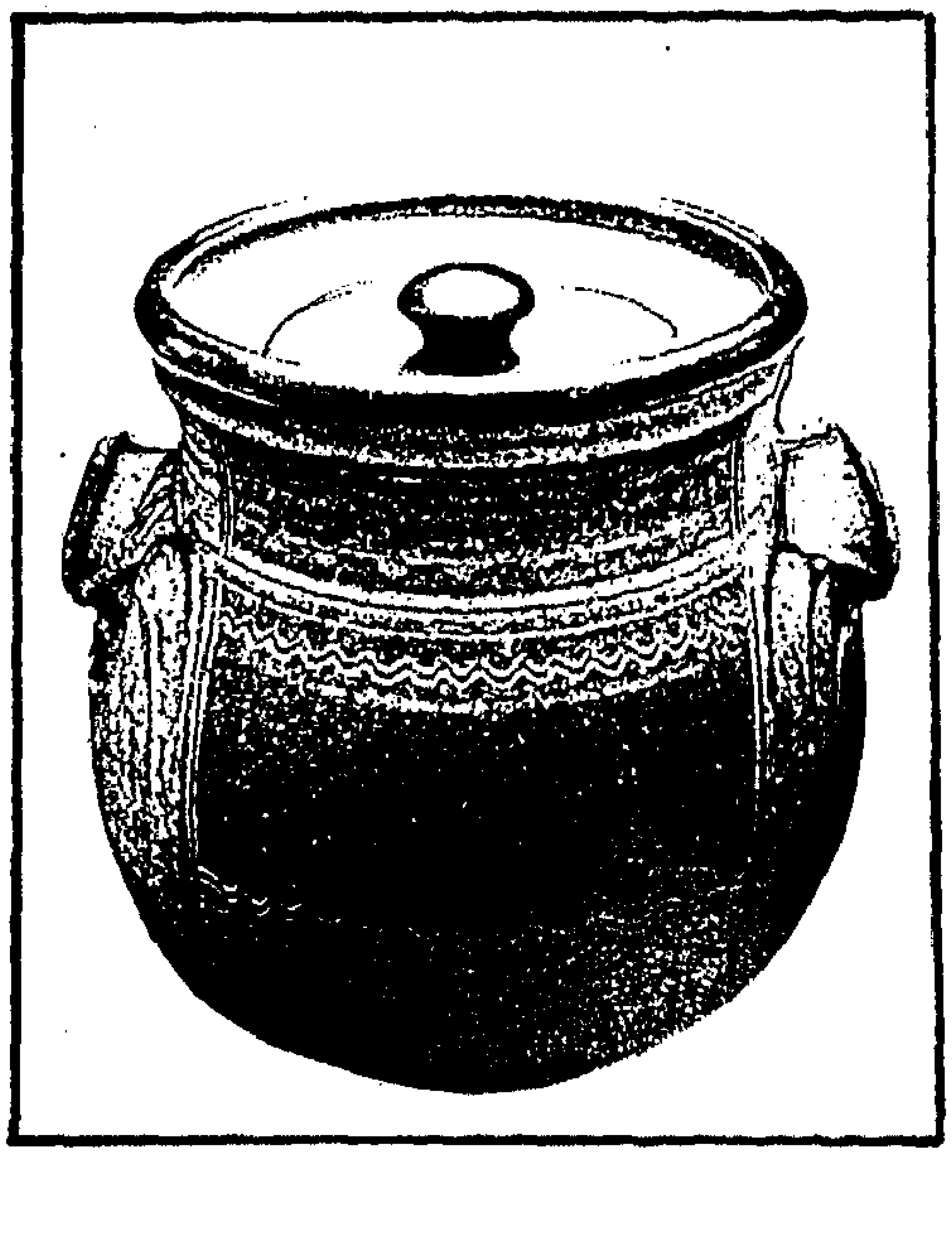


شــكل رقم (٢٦) : انجلترا ــ خزف حجرى ملون ازرق ــ ١٨٦١ م .

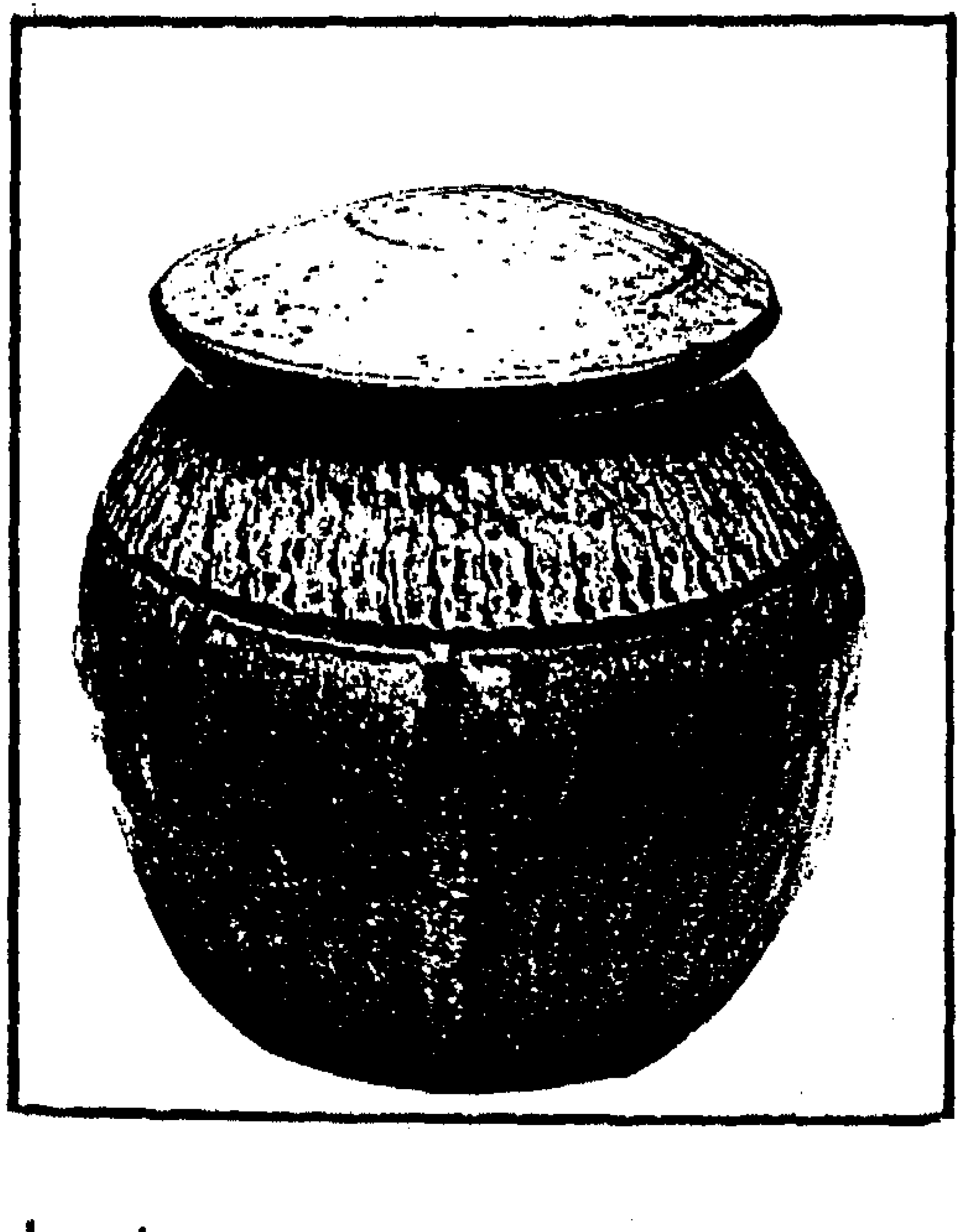


شـكل رقم (٢٧) : لوسى راى .

شـكل رقم (٢٨) : كولين بيرسون .



شـكل رقم (٢٩) : مايكل كاسون .



شـكل رقم (٣٠) : ريتشارد باترهام .

## د – دول إسكندنافيا Scandinavia

لم يوجد الخزف الحجرى فى أى دولة إسكندنافية (الدنمارك – السويد – النرويج – فنلندا) إلا فى وقت متأخرا نسبياً.

### الدنمارك Denmark

وجدت بعض المصانع فى الدنمارك تنتج بعض النوعيات من الخزف الحجرى مثل (مصنع كوبنهاجن الملكى – دانمارك The Royal Copenhagen Factory Denmark).

كانت تصنع الأشكال Figures من البورسيلان إلى أن استبدلت بالخزف الحجرى فى الثلاثينات وشكل بعضها بخشونة وبطلاءات بألوان أحمر Buff ورمادى مرقش.

ومصنع (بينج وجروندال Bing and Grondall) الذى يسمى المصنع الوطنى للبورسيلان The National Factory Of Porcelain عرض الخزف الحجرى لأول مرة عام ١٩١٤ وتميز كل شكل بالمعالجة المنفردة لكل إناء بحيث تعطى التأثير المطلوب (شكل رقم ٣١).

وبجانب المصانع التى تنتج خزف حجرى فى الدانمارك وجد بعض الفنانين ممن عملوا فى هذا المجال مثل كريستيان بولسن Charistian Poulsen الذى شكل أوانى خزف حجرى ببساطة وحرص فى إستخدام الألوان.

### السـويد Sweden

أنتج كل من أريك Erich وإنجريد تريلرIngrid Triller خزف حجرى راقى مطلى – من حوالى منتصف الثلاثينات من هذا القرن – كذلك أنتج كل من توم وجريت مولر Tom and Grete Moller أوانى نفعية وزخرفية من الخزف الحجرى.

### النرويج Nerway

شكل أريك بلوين Erik Ploen أوانى من الخزف الحجرى ذات طابع متميز.

### فنلندا Finland

أنتجت بعض أشكال الخزف الحجرى من أعمال الفنانين بطريقة التشكيل على دولاب الخزاف كما فى أعمال كل من رايجا تومى Raija Tuumi وتوينى مونا Toini Muona.

## ثالثاً: أمريكـــــا

بدأت صناعة الخزف الحجرى فى أمريكا عام ١٧٧٥م حيث بدأ جون كروليوس John Crolius بنيويورك عمل أوانى ذات طلاء ملحى، كذلك أنتج كارين كارنس Karen Karnes أوانى نفعية من الخزف الحجرى للإستخدام اليومى.

تركزت صناعة الخزف الحجرى لسنوات عديدة حول مدينة نيوجرسى New Jersy لوجود طفلات خزف حجرى جيدة ولقربها من السوق المستهلكة، كذلك وجدت طفلات فى وادى أوهايو Ohio والغرب الأوسط Middle West.

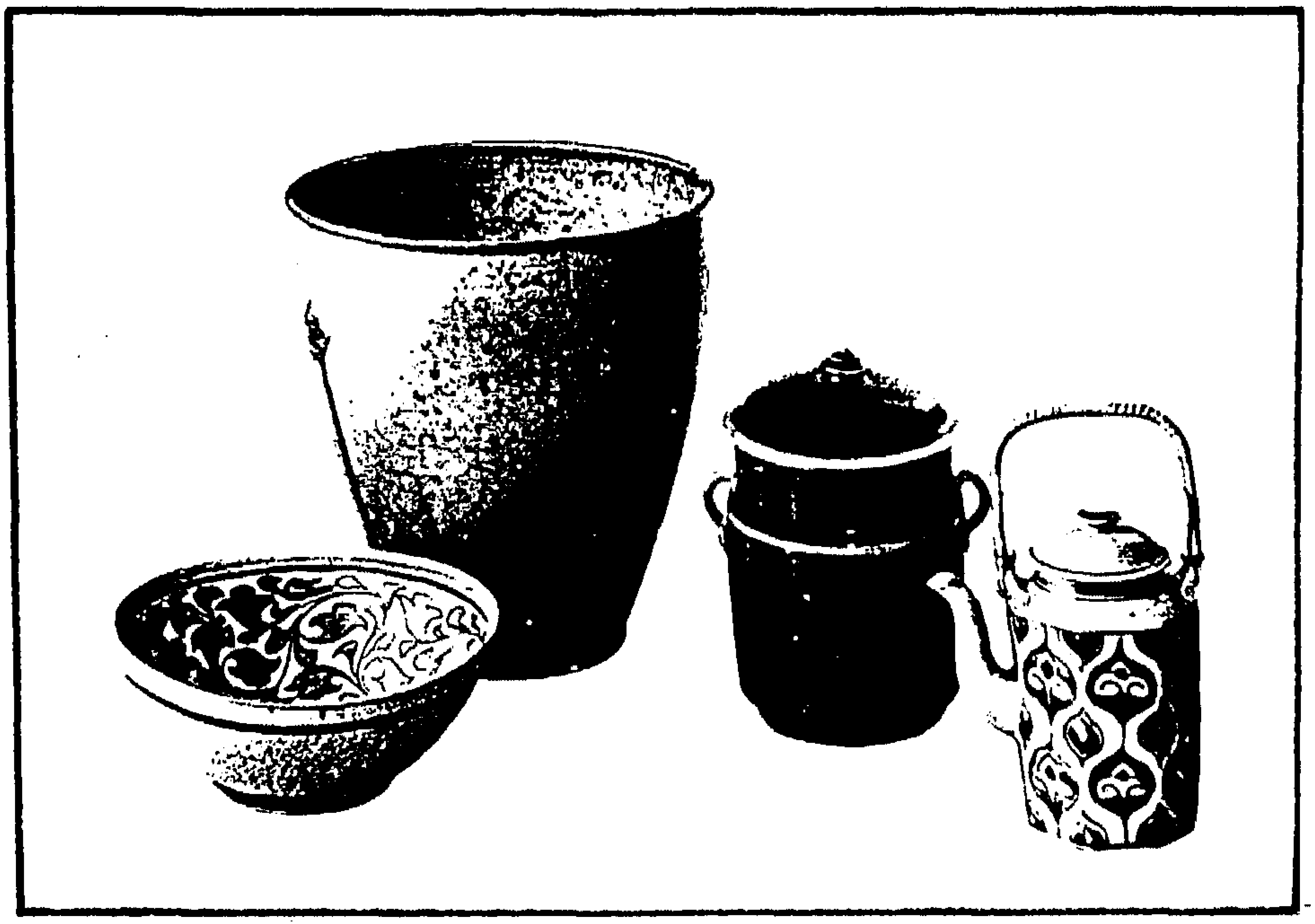
وجدت بعض النوعيات من أوانى الخزف الحجرى المنفردة بأساليب خاصة من إنتاج بعض المصانع فى أمريكا منها الأمثلة التالية:

قدر خزف حجرى ذو طلاء بلون بنى فاتح (مصنع الخزف لبول كوشمان Paul Cushman's Stonwerare Factory) (شكل رقم ٣٢أ).

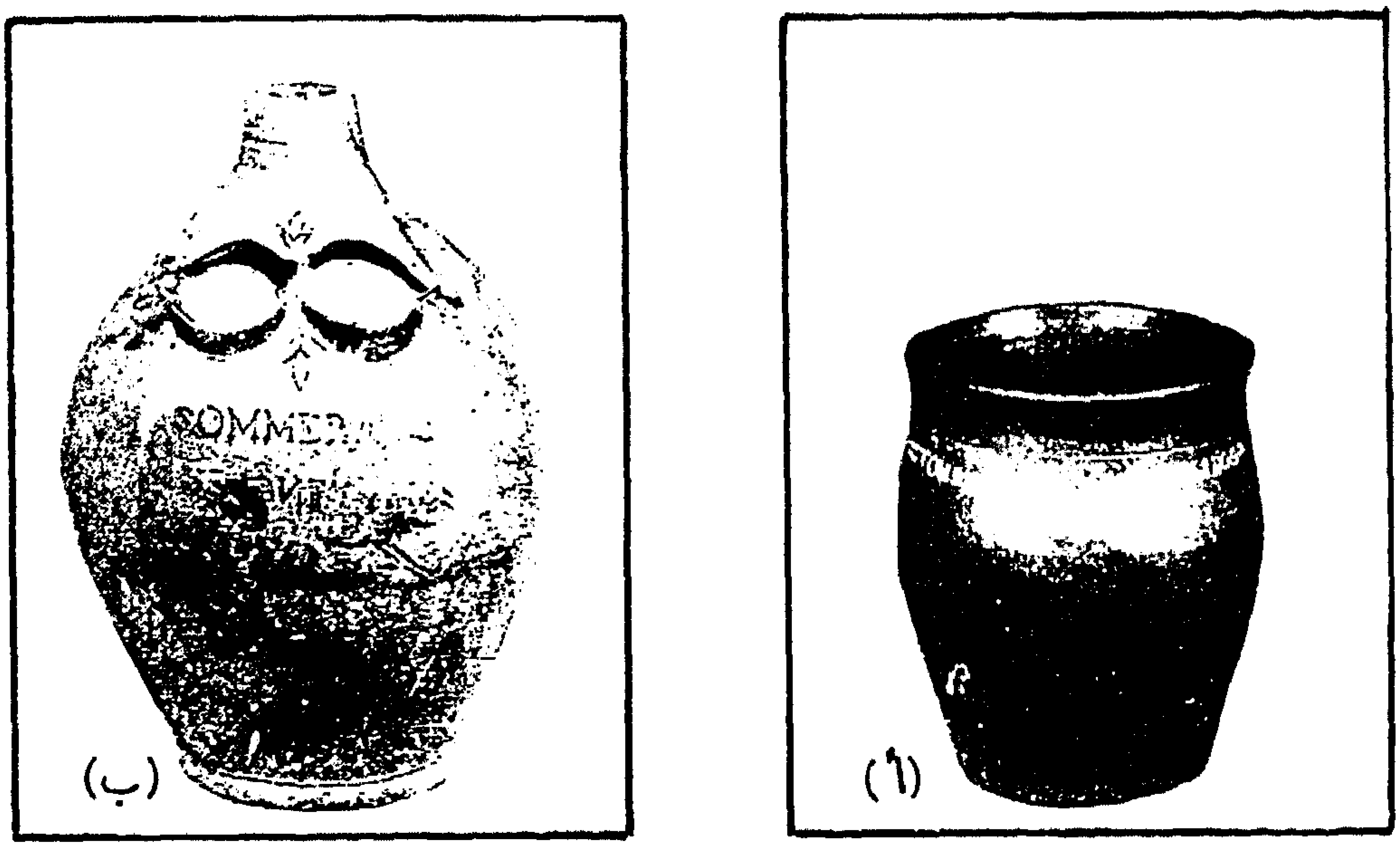
قدر خزف حجرى ذو طلاء ملحى رمادى اللون بزخارف أكسيد كوبالت مصنع كوميرو للخزف الحجرى (شكل رقم ٣٢ب).

بعض نماذج من نوعيات منفرده بإسلوب متميز (شكل رقم ٣٣) لقدر خزف حجرى من أوهايو ohio والذى يوضح إسلوب متقدم من أحد أعمال هال Hall عام ١٨٥٦.

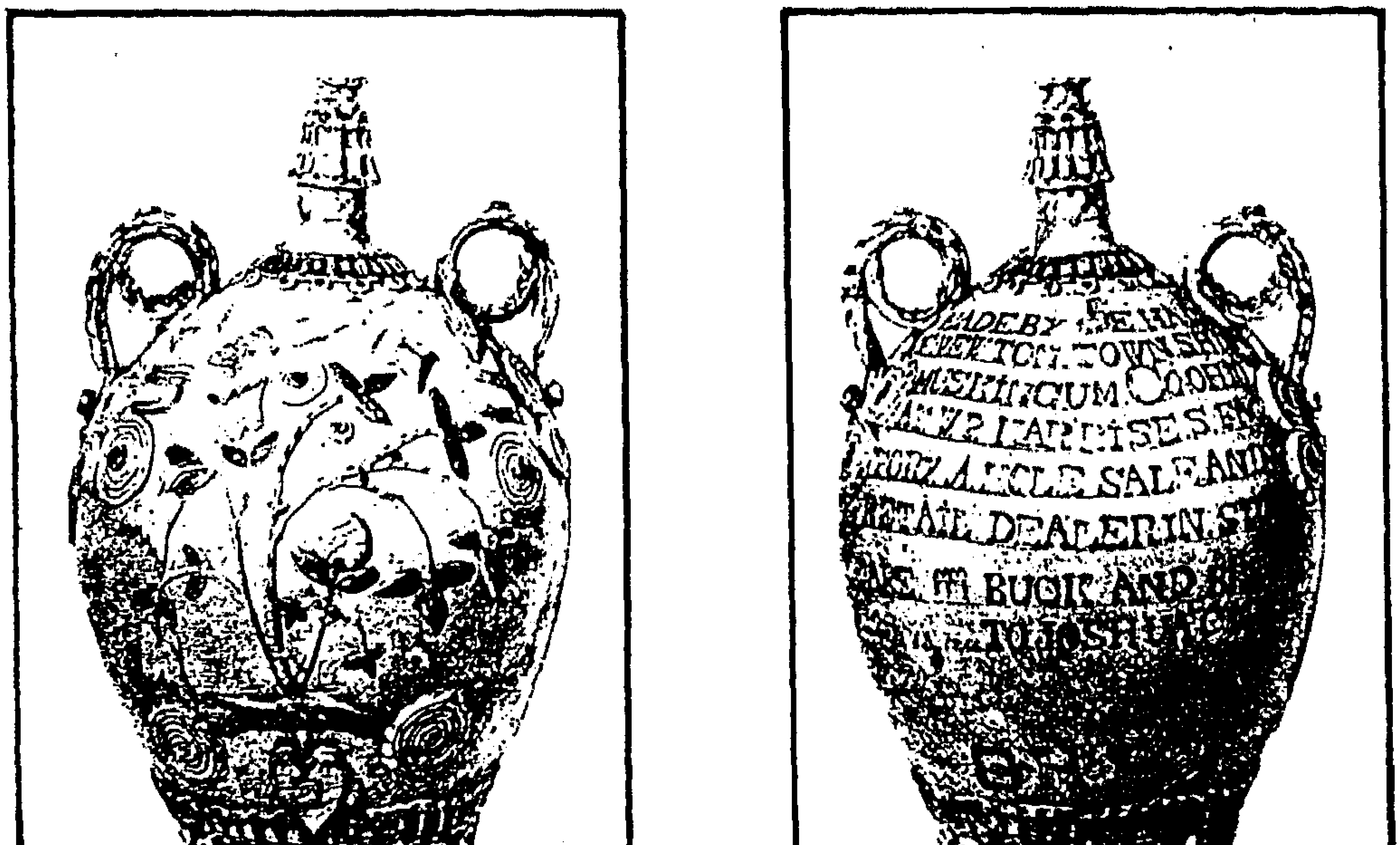
وعامة فإن منتجات الخزف الحجرى فى أمريكا أنتجت بأرقى الأدوات وأبسط الأساليب وعادة ما أستخدم نوع واحد من الطفله لإعطاء جسم صلد بعد الحريق، كما إن أغلب الأشكال للإستخدام النفعى. كذلك توجد بعض أوانى الخزف الحجرى ذو طلاء ملحى بملمس قشرة البرتقالة بألوان رمادى وبيج أو بنى.



شكل رقم (٣١) : الدانمارك ـ مصنع بينج وجروندال .




شكل رقم (٣٢) : أمريكا · نيويورك ــ (أ) مصنع بول كوشمان ١٨٠٩م ، (ب) كوميرو (١٨٠٢ــ١٨٢٠)م .



شكل رقم (٣٣) : أمريكا ــ أوهيو ــ أ · هال ــ ١٨٥٦ م .

## رابعاً: الشرق الأدنى ومصر

من نتائج المسح التاريخى لبداية وتطور الخزف الحجرى فى العالم لم يتضح ظهوره فى الشرق الأدنى ومصر قديما، بالرغم من تفوق كل منهما فى صناعة منتجات خزفية متنوعة ذات أساليب مختلفة مميزة.

وقد يرجع السبب فى ذلك إلى الخامات المستخدمة فى مراحل تشغيل تلك النوعية والتى يتطلبها كل من المنتج والطلاء الخاص به وكذلك الأفران التى تلائم الحريق عند درجات الحرارة العالية لإنتاج أجسام متزججة حيث وجدت فى الصين خامات حرارية مثل الطفلة النارية Fire Clay والكاولينات Kaolins بصورة شائعة والتى أستخدمت بجانب عمل المنتجات فى بناء الأفران بينما كانت تبنى الأفران فى أوروبا والشرق الأدنى من طوب الطفلة الأحمر المحتوى على شوائب الحديد، كذلك قد يرجع إلى إسلوب بناء الأفران فى الشرق الأدنى ومصر والذى ظل فى مستوى بدائى نسبيا حيث تتكون الأفران من أسطوانة مفتوحة من أعلى تقفل جزئيا بقطع من الفخار أو كسر البلاط (من أفران سحب علوى Updraft) تصل إلى درجة حراره ٩٠٠°م أو ربما إلى ١٠٥٠° فى بعض الحالات.

بينما كانت أفران الصين فى ذلك الوقت تصل إلى درجات حرارة أعلى من أفران الشرق الأدنى التى ترجع إلى إسلوب تخطيطها وبنائها (أفران سحب سفلى Downdraft) يمكن الوصول بها إلى درجات حرارة ١٢٠٠° أو أعلى ومن مميزاتها الإحتفاظ بدرجة حرارة التسخين والاستفادة منها بدرجة أكبر عن تركها تنبعث من المدخنة كما فى إسلوب أفران السحب العلوى، حيث يوضح تدرج مرور الحرارة فى أفران السحب السفلى داخل الفرن من مصدر التسخين أسفل الفرن إلى أعلاه ثم إلى أسفل ليصعد إلى المدخنة، وهذا ما يؤدى إلى إعطاء الفرصة لإنتاج أجسام متزججة ونوعيات مميزة من الطلاء الزجاجى والتى تميزت بها الصين عن سائر بلاد العالم فى ذلك الوقت.

ومما تقدم نجد أن خامات الشرق الأقصى تميزت بتحملها لدرجات الحرارة العالية والملائمة لإنتاج نوعيات متزججة، وساعد على ذلك أسلوب تخطيط وبناء الأفران الخاصة بحريق تلك المنتجات.

وقد يفسر هذا بعض الأساليب التى وقفت حائلا دون إنتاج خزف حجرى بالشرق الأدنى ومصر قديماً.

وتطورت الأساليب المختلفة بظهور نوعيات متعددة من الخزف الحجرى فى الشرق الأقصى وأوروبا وأمريكا تميزت بأساليب حديثه أثرت على صناعة الخزف وبنوعيات متفوقة فى إنتاج الأدوات المنزلية كما فى صناعة ودجوود التى أعتبرت نوعية منفردة من الخزف الحجرى منها ما أطلق عليه إسم الجاسبر المميز باللون الأزرق والمعروف أحيانا بأوانى ودجوود.

كما أخذ الخزف الحجرى إهتمام الكثير من الفنانين فى أماكن كثيرة من العالم، إلا أنه لم ينل ذلك الإهتمام فى مصر فأستخدم فقط فى إنتاج أنواع خزفية من الأجسام الخشنة الثقيلة مثلما فى صناعة المواسير والقراميد وقدور التخزين.

وأرجع البعض عدم صناعة منتجات راقية حديثا فى مصر إلى عدم الثقة بالخامات المحلية المصرية فى إمكانية إعطاء أوانى مترجحة كنتيجة لاضمحلال صناعة الفخار فى أواخر عهد المماليك والولاه العثمانين (من عام ١٨٠٠م) بأنتشار المنتجات العادية من البرابخ غير المطلية.

كذلك أنشئ مصنع (مارانجاكيس) عام ١٨٨٥م من أهم منتجاته الأدوات المنزلية من الفخار العادى المطلى الرخيص الثمن الذى لا يحتاج إلى دقة فى كل من صناعته أو إختيار خاماته.

وفى ذلك الوقت (فى نهاية القرن التاسع عشر) أجريت دراسات عديدة على الخامات المصرية لمعرفة مدى ملاءمتها للإنتاج وأثبتت نتائجها إنها تلائم إنتاج أصناف جيدة من الفخار والخزف إلا أنها لم تستغل الاستغلال الحسن.

كذلك أنشئت بعض المصانع المصرية التى تعمل فى مجال الحراريات والخزف إلا أن إنتاجها من الخزف الحجرى إقتصر على بعض المنتجات الخشنة مثل المواسير والقراميد وقدور التخزين وبعض بلاط المعامل المقاوم للكيماويات وذلك كما فى مصنع سورناجا ١٩٠٥ (شركة النصر لصناعة الحراريات والفخار) ومصنع كانيلاتوس ١٩٣٩ (الشركة المصرية للحراريات).

كما أنشئت بعض المصانع الأخرى التى تنتج مواسير الفخار ذات الطلاء الملحى.

وكان السبب فى عدم الثقة فى الخامات المصرية هو ظهور أصناف رديئة مصنعه بخامات غير مجهزه وذلك أثناء الحرب العالمية الثانية بعد أنقطاع الواردات من المنتجات الخزفية الراقية والحراريات الممتازة من الدول الأوروبية، مما كان له أثر شئ فى نفوس المصريين إضافة إلى الإعتقاد الراسخ لدى القائمين بتلك الصناعة فى مصر (أثناء الاحتلال البريطانى) بأن الخامات المصرية لا تلائم إنتاج نوعيات راقية تنافس المنتجات الأجنبية الواردة.

ومما تقدم لم يتضح إستخدام الخزف الحجرى فى إنتاج نوعيات راقية من أوانى المائدة أو الأوانى الفنية فى المجال الصناعى، كما لم ينل إهتمام الخزافين إلا فى بعض الأنواع الخشنة منه... وتبع ذلك إجراء بعض الدراسات (من منتصف القرن العشرين) لإستكشاف خامات جديدة ودراسة مواصفاتها وملاءمتها لإنتاج نوعيات من الخزف، ومنها يتضح إمكان إستغلال الخامات المحلية وإخضاعها لعمل منتجات بالمواصفات المطلوبة وذلك بالإختيار الجيد للخامات ودراسة ملاءمتها لإنتاج النوعية المطلوبة، ومعرفة المواد التى يمكن إضافتها للطفلة المستخدمة لاكتساب الجسم المراد الخواص المطلوبة وتحسين بعضها لكى تلائم الإستخدام.

وعامة لم يأخذ الخزف الحجرى فى مصر الإهتمام الكافى لتطويره وإعطاءه الصفات الجمالية المميزة له لإنتاج أنواع راقية تنافس المنتجات الأخرى.

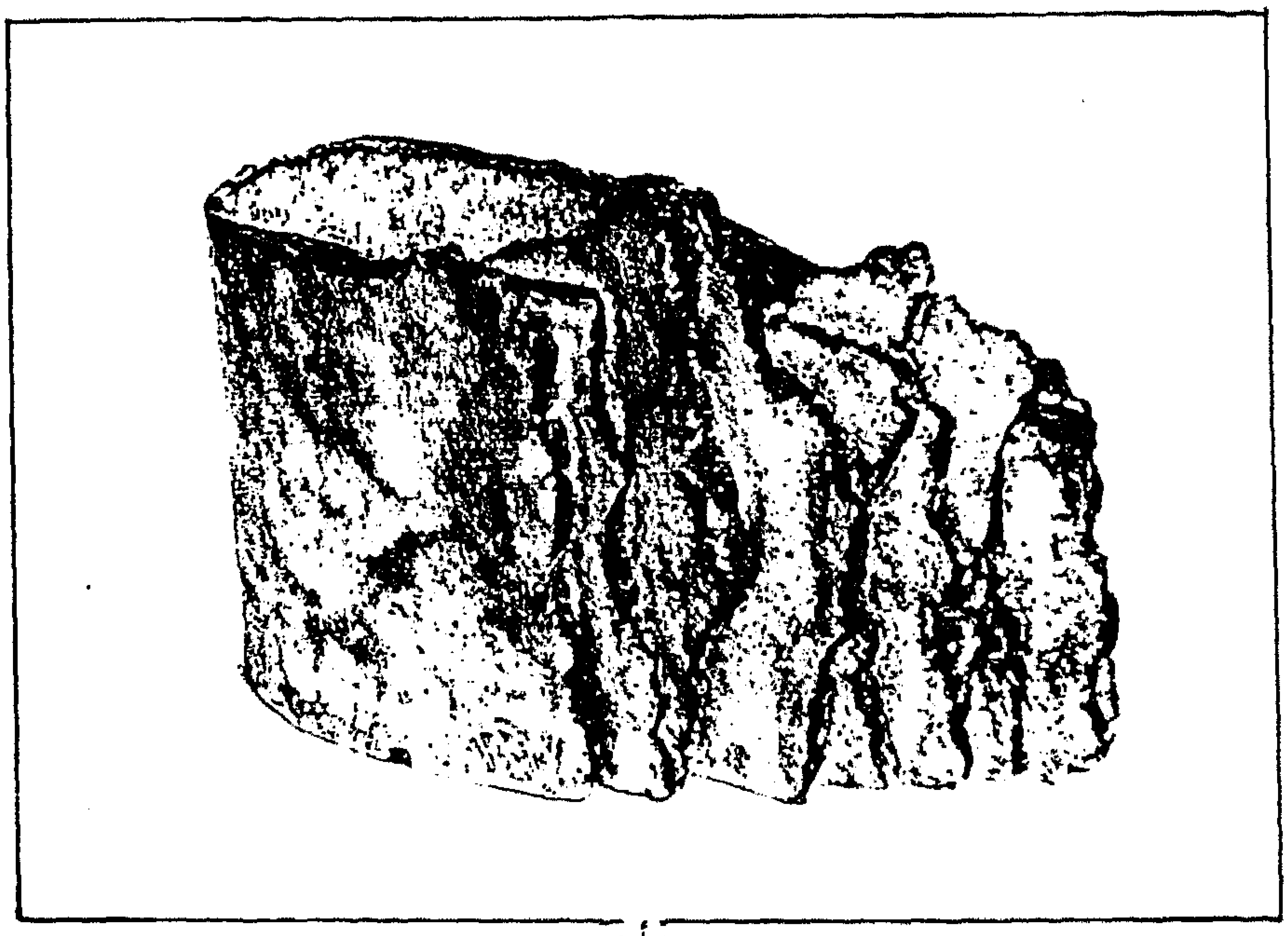
ومما سبق يتضح وجود أساليب متنوعة عديدة لنوعيات مختلفة من الخزف الحجرى الراقى فى أماكن مختلفة من العالم تميز كل منها بأساليب خاصة ووجدت فى تطور دائم منذ ما قبل الميلاد بحوالى ٥٠٠ عام عند بداية ظهوره فى الصين قبل أسره "هان" وإلى الآن فى الشرق الأقصى ثم أوروبا وأمريكا..

وكان من الصعوبة الحصول على أية بيانات واضحة عن تأريخ صناعة الخزف الحجرى فى مصر حيث لم يذكر عنه إلا نادرا ولكن يوجد فى بعض المصانع المصرية إستخدامات محدودة للخزف الحجرى مثلما فى القدور الكبيرة والمواسير والأدوات الصحية وبعض بلاط المعامل، ولكن لم تستغل الأنواع الراقية منه التى تقترب مواصفاتها من مواصفات البورسيلان (فى المساميه ودرجة امتصاص الماء) فى إنتاج أدوات منزلية فى مصر من أوانى المائدة أو الفنية أو غيرها.

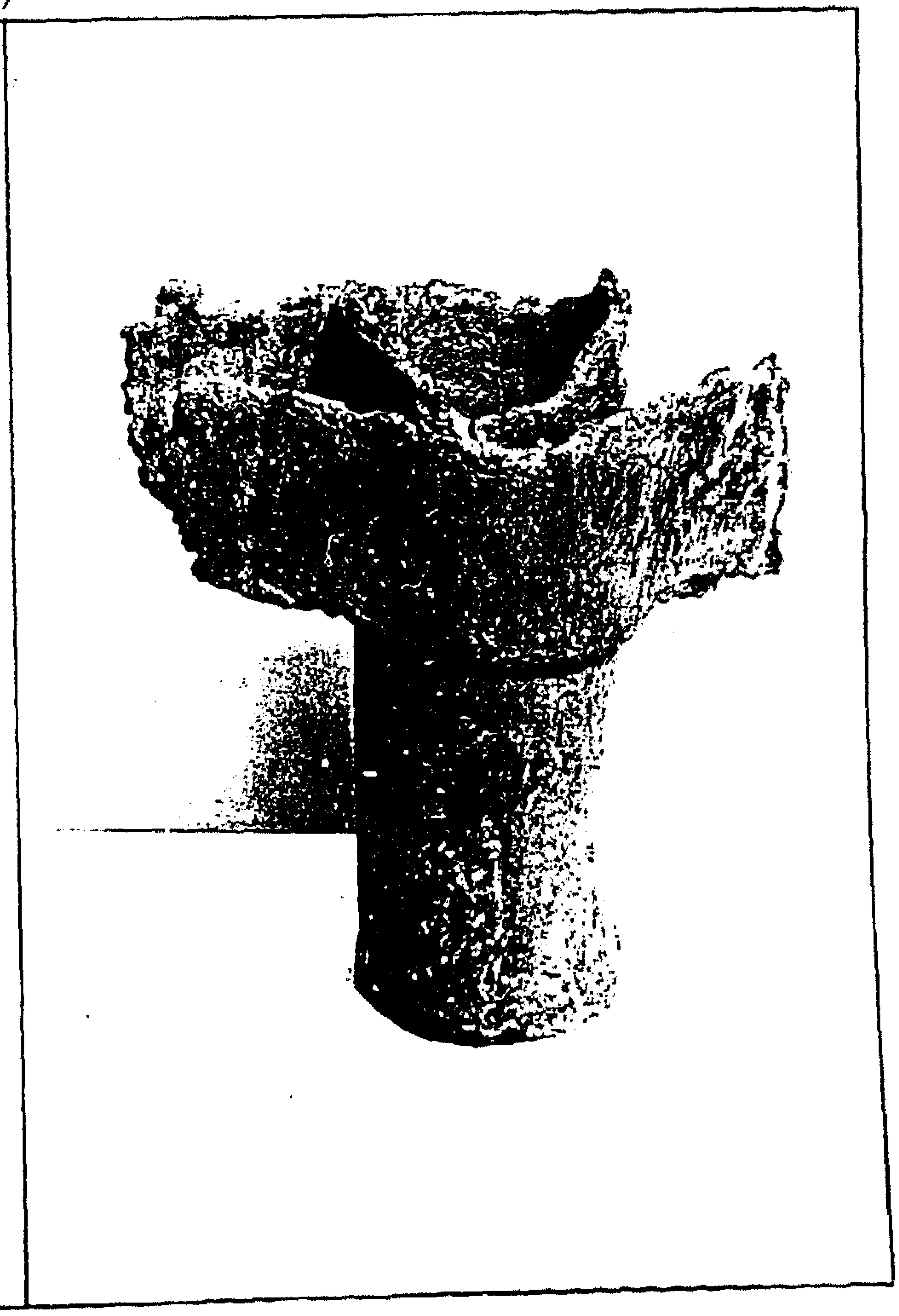
وقامت فى السبعينات من القرن العشرين دراسات على إمكانيات الخامات المصرية وملاءمتها لإنتاج نوعيات مختلفة من الطوب والبلاط والخزف الصحى والكهربى والحرارى وغيره ومنها دراسات قامت بها المؤلفه فى هذا المجال بإستخدام الخامات المصرية، وإكتشاف خصائص بعض الخامات التى لم تستغل فى صناعة الخزف لإنتاج نوعيات مميزة من الخزف الحجرى الملون فى مجال العمارة الداخلية فى الأدوات المنزلية والفنية والكهربية وغيرها..، وتركزت اهتماماتها فى تلك النوعية منذ السبعينات من القرن العشرين، وتبع ذلك دراسة أخرى لاستخدام الخزف الحجرى فى المجال المعمارى وحيث هو أكثر المواد ملاءمة لهذا المجال، وتميزت جميع الأعمال الفنية الخاصة بها باستخدام النوعيات المميزة جماليا فى كل من الجسم والطلاء الخزفى والتى تتبع المواصفات القياسية التى تحدد نوعيتها علمياً (شكل رقم ٣٤، ٣٥).

والجدير بالذكر إنه بعد إنشاء بعض المصانع الاستثمارية حديثا فى مجال (بلاط السيراميك) وإنتشاره بصورة واضحة فى المجال المعمارى ظهرت نوعية يطلق عليها (بلاط البورسيلان) وهو فى الحقيقة يندرج تحت نوعية الخزف الحجرى حيث أنه ملون ولا يتميز بالشفافية الجزئية للبورسيلان ويتميز بخواص الخزف الحجرى الملون.

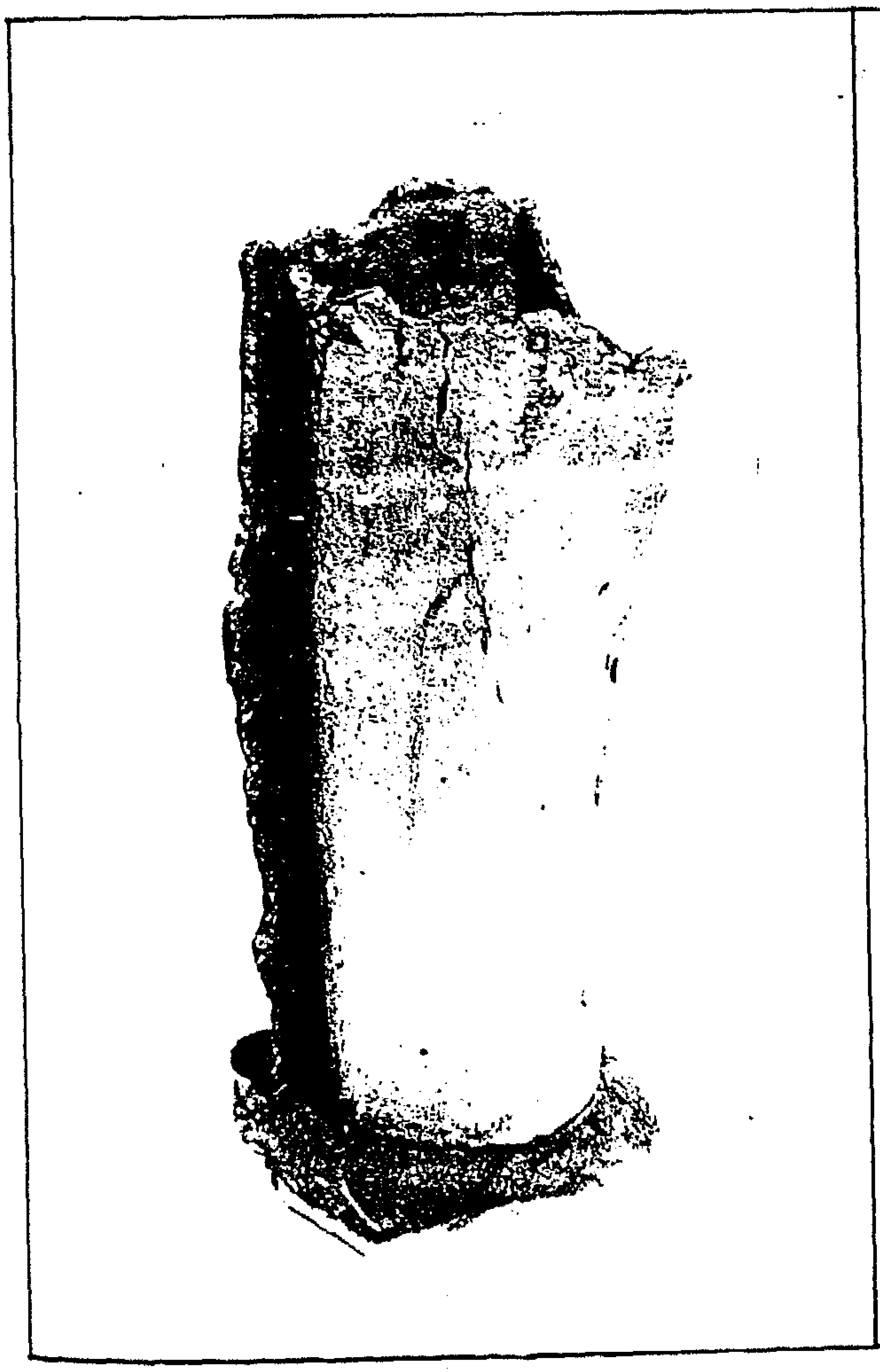
كذلك زاد إهتمام الفنانين الخزافين فى تطوير خاماتهم وإستخدام بعض الأجسام الخزفية المتزججة والتى يرجع بعضها إلى نوعية الخزف الحجرى والإستفادة من الجانب الجمالى الذى يتميز به.



(أ)

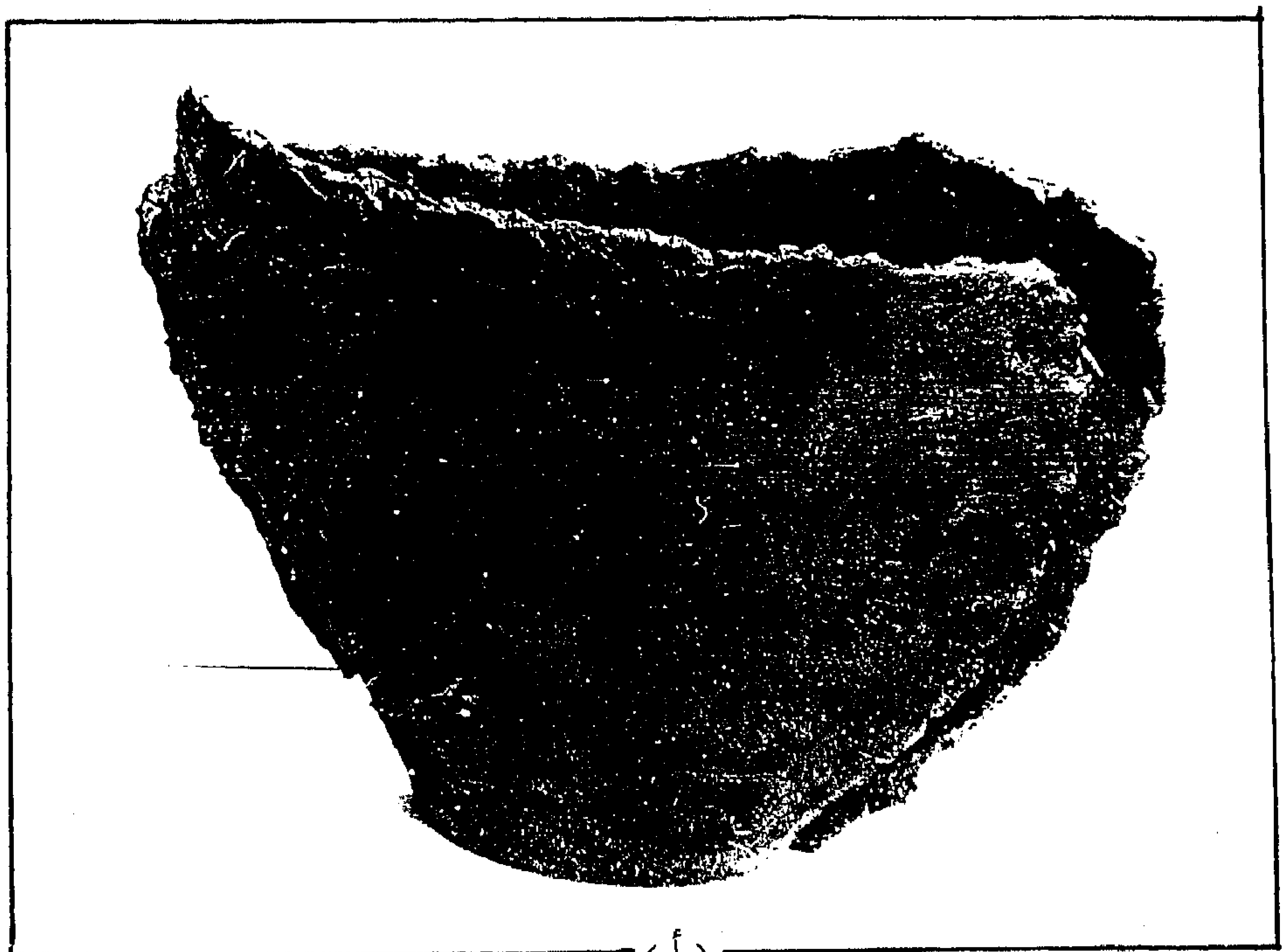


(ب)

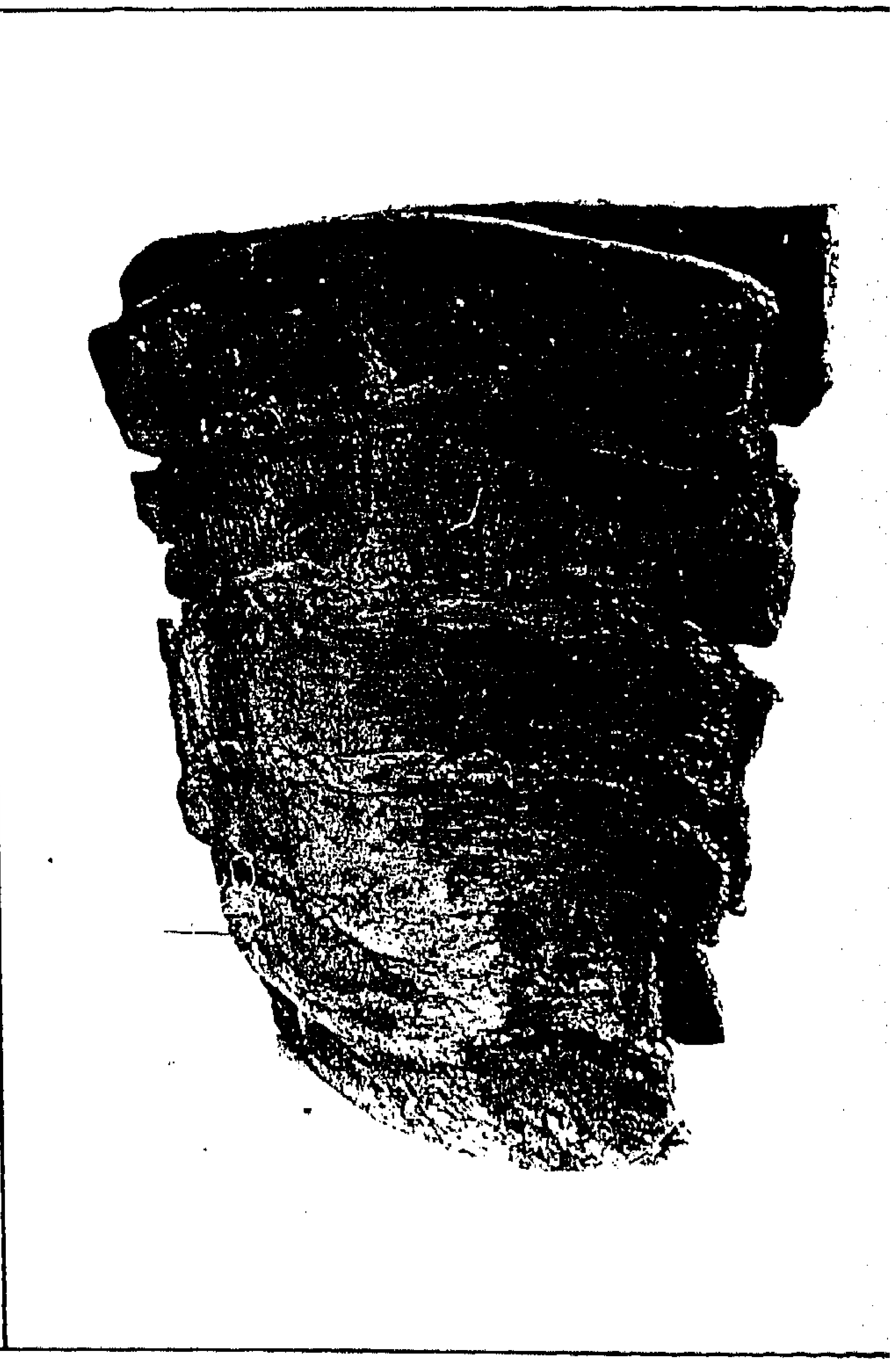


(جـ)

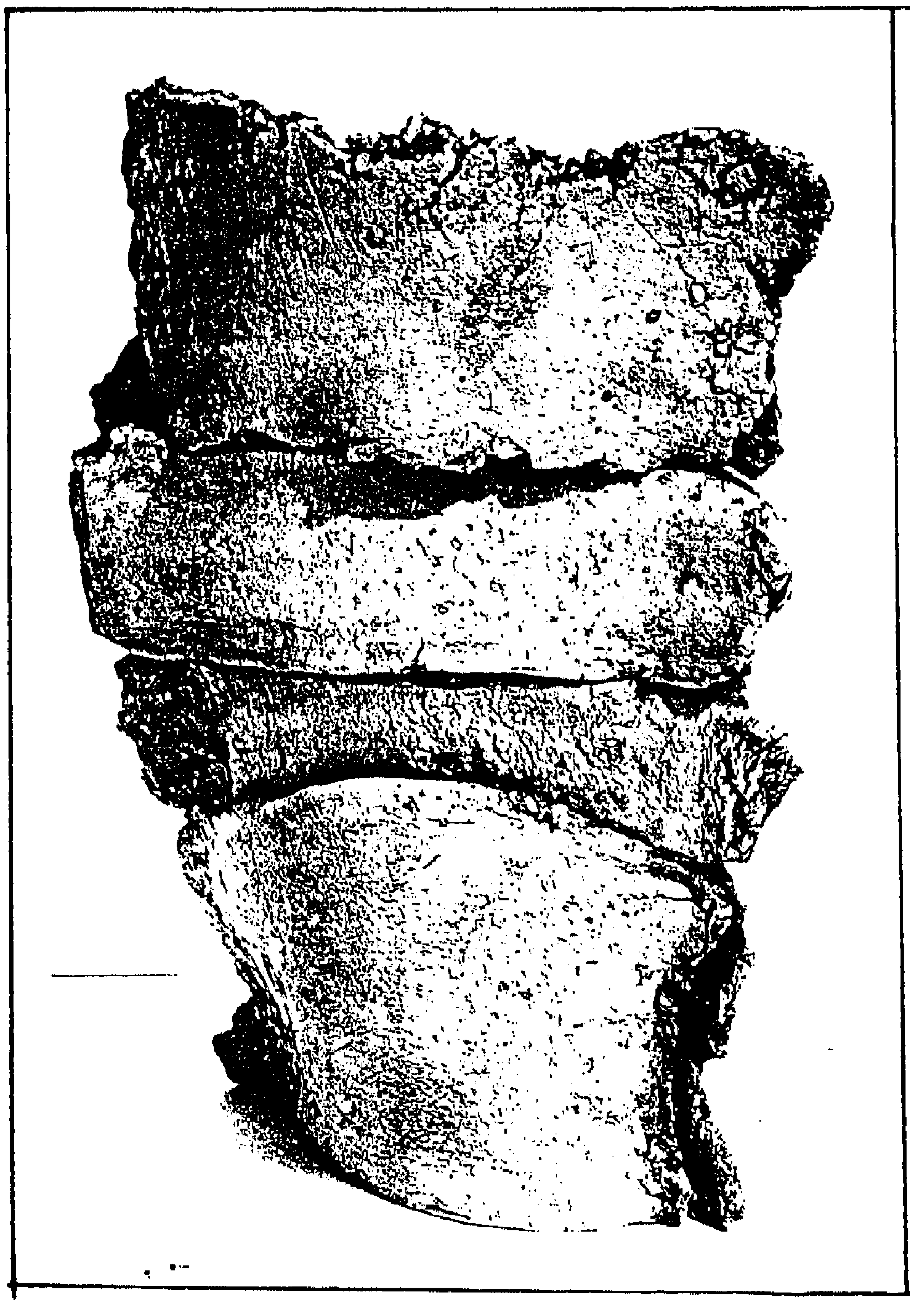
شكل رقم (٣٤) : مصر- خزف حجرى - تهانى العادلى



(أ)



(ب)



(جـ)

شكل رقم (٣٥) : مصر- خزف حجرى - تهانى العادلى

# الجزء الثالث
# أجسام و طلاءات
# الخزف الحجرى

# طينات وأجسام الخزف الحجرى

تعتمد صناعة المنتجات الخزفية على توافر المواد الخام المستخدمة من مواد أساسية ومساعدات صهر ومواد مالئه والتى تحدد نوع المنتج وإستخدامه، ويمكن أن تقسم منتجات الخزف الحجرى الراقى تبعا لنوع مادة الصهر المستخدمة مثل خزف حجرى جيرى أو فلسبارى أو جاسبر والتى يحدد تبعا لها مجالات الإستخدام فى كل منهم فمثلا النوع الأول والثانى لإنتاج أدوات المائدة والصحى وغالبا ما يستخدم الأخير فى المنتجات الفنية.

لذا يراع الإختيار الدقيق لك من خامات الطفلة ونوع مادة الصهر التى يتحدد تبعا لها الغرض الذى ينتج من أجله الجسم الخزفى مع الأخذ فى الإعتبار توافر تلك الخامات وسهولة الحصول عليها ومدى نقائها وتركيبها المعدنى والكيميائى وخواصها الطبيعية مثل توزيع الحجم الحبيى لدقائق الطفلة ومعامل اللدونة والشوائب التى تحتويها لاستنباط مسلكها فى مراحل التشغيل المختلفة ومعرفة مدى ملاءمتها لإنتاج النوعية المطلوبة.

## أولاً : طينات خزف حجرى طبيعية

توجد فى بعض الأماكن فى الطبيعة ولكن ليس كإنتشار الطينات الحمراء المستخدمة فى الأوانى الأرضية Earthenware، ويمكن أن تندرج أى نوعية من الطينات الطبيعية التى تحرق إلى ١٢٠٠°م (Cone 6) وتعطى جسم صلد وكثيف فى نوعيات طينات خزف حجرى طبيعى.

وتعطى تلك الطينات درجات لونية من البيج أو الأحمر أو الرمادى أو البنى الفاتح أو الغامق أو الأسود المائل للبنى، معتمد ذلك على نسبة أكسيد الحديد أو الشوائب الموجودة فى الطفلة الخام كما يعتمد على درجة الحرارة وظروف الحريق.

ولكن عند زيادة نسبة أكسيد الحديد فى الخام فإنها لا تلائم أجسام الخزف الحجرى حيث تنصهر فى درجات حرارة أقل حوالى مخروط Cone 4 (١١٦٠°م)، كذلك فإن الطينات النقية جداً مثل الكاولين لا تلائم أيضا الخزف الحجرى حيث تكون بطبيعتها حرارية جداً ولا تعطى الصلادة والكثافة المطلوبة والتى تصل إلى مخروط Cone 14 (١٤١٠°م) أو أعلى.

ولا تتميز طينات الخزف الحجرى فقط باللون ولكن أيضا فى ظروف التشغيل المختلفة حيث المرونة وإمكان إستخدام طرق تشكيل مختلفة وحيث الخامات ذات اللدونه العالية والتى يتبعها أنكماش بجفيف وحريق عالى... وتوجد بعض الطينات بلدونه متوسطة مع إنكماش منخفض نسبيا.

والجدير بالذكر إنه لا تتوافر طينات الخزف الحجرى بالخواص المطلوبة من لون ودرجة إنكماش ودرجة حريق وغيرها، لذا يقوم الخزاف بتحضير أجسام لمنتجات الخزف الحجرى تبعا لما يتطلبه المنتج المطلوب من لون وكثافة ومواصفات أخرى تتبع الاستخدام، وذلك بتركيب أجسام من طينات مختلفة ومكونات غير لدنة.

## ثانياً: تركيبات أجسام خزف حجرى

يكون من الملائم خلط طينات متنوعة مع بعض المواد الأخرى للوصول إلى أجسام خزف حجرى ملائمة، ويكون ذلك فى صورة أيسر من نوعيات الخزف الأرضى والبورسيلان لإحتياج كل منهما إلى مواصفات خاصة مثل إختيار المواد ومساعدات الصهر فى الخزف الأرضى وإختيار الخامات النقية جداً فى البورسيلان.

ومن الدراسات المختلفة للمؤلفة فى مجال الخزف الحجرى حيث تركزت دراساتها منذ السبعينات من القرن العشرين عل تلك النوعية وجمالياتها.. بدأت فى دراسات أكاديمية للبحث فى الخامات واستخدام خامات مصريه لم تستغل من قبل فى مجال الخزف الراقى مثل طفلة الفيوم (من منطقة شقلوفه) والتى تتوافر بكميات كبيرة، أو خامات لم تستغل فى الخزف عامة كما فى إستخدام خامة الباريت من منطقة أسوان وهو الصورة الطبيعية لكبريتات الباريوم وذلك بعمل تركيبات مع الخامات الأخرى ودراسة مواصفات الخامات ثم الأجسام فى درجات حرارة مختلفة وذلك للتوصل إلى أجسام تتميز بمواصفات تلائم الإستخدام فى مجال العمارة الداخلية فى الأدوات المترلية وأمكن بإستخدام الخامات المصرية التوصل إلى نوعيات جيدة مميزة من نوعية الخزف الحجرى والتى تشابهت مع خزف ودجوود فى انجلترا.

وأدت تلك الدراسات إلى التوصل لأجسام خزفية ملونة مميزة بجماليات خاصة ثم تبع ذلك أيضا دراسات أكاديمية فى مجال العمارة الخارجية أستغلت فيها الخامات التى تحتوى شوائب للوصول إلى اللون الذاتى للأجسام مع الدراسات الفنية للإمكانيات المتنوعة لإستخدام تلك الأجسام فى مجال العمارة الداخلية والخارجية إن كان هذا فى لوحات فنية أو إستخدام أسلوب فنى فى إحد الدراسات فى المجال المعمارى بإستخدام الطوب المصمت أو المفرغ والتشكيل فيه قبل الحريق ليعطى تنوعاً منفرد الأسلوب.

وما يلى بعض تركيبات تلك الدراسات

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Fayum clay | 45 | 30 | 40 | 25 |
| Barite | 35 | 50 | 35 | 50 |
| Feldspar | 20 | 20 | 10 | 17 |
| Quartz | - | - | 15 | 8 |
| Temp. °C | ← 1250 → | | ← 1200 → | |

واستمرت الدراسات المختلفة فى هذا المجال إن كان فى الجسم الخزفى أو الطلاء الزجاجى وفى الجانب الصناعى الكمى أو الفنى فى القطعة المنفردة Master Piece وهذاالمجال لا ينضب ودائما يعطى الجديد المميز.

وبالإبتكار يمكن التوصل إلى أفضل الجماليات فى جانب الخامة أو الشكل والتكوين.

## إختيار الطفلة المستخدمة

فى حالة إجراء تركيبات فإنه يبدأ فى إختيار الطفلة أولاً ودراسة خواصها لمعرفة نوع الإضافات المطلوبة، كما يتم إختبارها فى طرق التشغيل المختلفة على دولاب الخزف أو الصب... وغيرها، وذلك ليتضح مدى لدونتها وقابليتها للتشكيل،وكذلك إختبارها فى الحريق وتحديد الخواص الطبيعية لها بعد الحريق مثل الإنكماش والكثافة والمسامية وكذلك لونها بعد الحريق.

وليست الأهمية فقط الوصول إلى نتائج جيدة للجسم ولكن من الضرورى التجربة الكاملة لمراحل التشغيل للتركيب المقترح، حيث أنه يمكن أن نصل إلى تركيب جيد كعينه أو الوصول لمواصفات جيدة ولكن عند التشكيل تحدث عيوب لا يمكن تلافيها مثل الأبعاج أو الكسر أو انهيار الأشكال فى درجات الحرارة العالية وغيرها.

مدى أستخدام المكونات من طفلة وإضافات فى أجسام الخزف الحجرى

| | | |
|---|---|---|
| Stoneware clay | to | 100% |
| Ball clay | to | 50% |
| Kaolin | to | 30% |
| Fire clay | to | 75% |
| Red Earthenware clay | to | 25% |
| Grog | to | 30% |
| Flint | to | 25% |
| Feldspare | to | 25% |
| Talc | to | 10% |
| Pyrophyllite | to | 25% |

## طينات الكره Ball clay

تضاف لزيادة اللدونة وقوة التجفيف والكثافة بعد الحريق .

## الكاولين Kaolin

لا يستخدم بنسبة عالية فى أجسام الخزف الحجرى وذلك لدرجة حراريته الراجعة إلى درجة النقاء، حيث ملاءمته لدرجات الحرارة العالية جداً مثل البورسيلان.

## الطين النارى Fire Clay

يضاف لزيادة قابلية التشكيل للتركيب والحصول على لون مميز وتأثيرات جمالية

## الطينات الأرضية الحمراء Red Earthenware Clay

تعتبر مصدراً للون وتستخدم فى الأجسام الغامقة اللون وللعمل كمادة صهر تخفض درجة حرارة النضج.

## الجروج Grog

وهو كسر الطين أو الأجسام المحروقة، يضاف لزيادة مسام الجسم لتقليل الأنكماش وسرعة الجفاف وملافاة عيوب الإنكماش الكبير.

## الفلنت Flint

أو السيليكا المطحونة، هى دائما ما يحتويها الجسم الخزفى الحجرى وتضيف خاصية هامة للصلادة للطين المحروق، ولأنها مادة غير لدنه فإنها تعمل أيضا على فتح المسام للإسراع من عملية التجفيف.

كما أن إضافة الفلنت للجسم يقلل بصورة كبيرة مشكلة تشقق الطلاء الزجاجى، حيث الجسم المحتوى على أقل من ١٠% فلنت يؤدى إلى مشكلة تشقق أغلب الطلاءات، وزيادة نسبة الفلنت بصورة كبيرة فى الجسم تعمل على تقشير وسقوط الطلاءات من على الأجسام.

## الفلسبار Fledspar

يستخدم الفلسبار فى الطلاءات كمادة صهر، والأجسام التى تحتوى نسبة عالية من طينات الخزف الحجرى لا تحتاج إلى إضافة فلسبار أو أن يضاف بنسبة صغيره، ولكن الأجسام المركبة من الكاولين والبولكلى خاصة فإنها تحتاج إلى إضافة نسبة ملموسة من الفلسبار للوصول إلى درجة ملاءمة من الصلادة والتزجج عند درجة الحرارة المطلوبة.

## التلك Talc

يستخدم التلك (سيليكات الماغنسيوم) أحيانا كمادة صهر خاصة فى أجسام درجات الحرارة المنخفضة، وتستخدم فى الخزف الحجرى بنسب صغيرة لزيادة الكثافة للجسم المحروق.

## البيروفليت Pyrophyllite

بالصيغة الجزيئية $Al_2O_3.\ 4\ SiO_2.\ H_2O$ سيليكات الالومنيوم المائية يحتوى على نسبة قليلة من الماء المتحد كيميائيا بالمقارنة بتركيب الكاولين $Al_2O_3.\ 2SiO_2.\ 2H_2O$، يكون غير لدن فى الحالة الخام لذا يكون عملى لإستخدامه فى تركيبات الأجسام المشكلة بالصب، ويسلك سلوك الكاولين فى الحريق.

## التشكيل

للتشكيل بدولاب الخزف يجب أن تكون التركيبات بلدونة عالية مع مراعاة وجود نسبة ملائمة من المواد الخشنة عند التشكيل للأحجام الكبيرة أو الطويلة.

أما التركيبات المحضرة للتشكيل بالصب تختلف عن الخاصة بالتشكيل على الدولاب أو غيرها من طرق التشكيل. حيث اللدونه العالية للطينات يقابلها زيادة فى نسبة الماء المضاف مما يعمل على بطء زمن الصب وإتلاف القالب وإلتصاق الجسم بالقالب وأنكماش وإلتواء زائد – لذا يجب أن لا تزيد الطينات فى تركيب الصب عن ٦٠-٧٠% من التركيب.

## اللون والملمس لطينات الخزف الحجرى

الخزف الحجرى المحروق يمكن أن يتنوع بصورة كبيرة فى اللون والملمس، وهو بالرغم من أن مدى اللون غير لامع فهو بذلك يعبر عن الطبيعة الأرضية للمواد ومظهر مصدر الصخور والمعادن، ويمكن أن يشابه فى مظهره وملمسه ولونه حجر الفلت أو أن يبدو كقطعة من الجرانيت، ويمكن التنوع الكبير فى الدرجات اللونية والملمس من الناعم إلى الخشن.

كما يمكن الحصول على اللون فى طينات الخزف الحجرى من خلال الشوائب التى تحتويها.

## طلاءات الخزف الحجرى

الطلاءات المسواه فى درجات الحرارة العالية لها مظهر خاص وأخاذ، أن كان هذا فى الملمس أو اللون أو القيمة وفى علاقته مع الجسم المطبقة فوقه.. هذا بجانب مزاياها وخواصها الناتجه عن الحريق

فى درجات الحرارة العالية حيث لا تحتاج إلى إضافة نسبة عالية من المصهرات كما فى درجات الحرارة المنخفضة والذى يؤدى إلى لمعان الطلاء (كالزجاج المصقول).

كما تتميز طلاءات الخزف الحجرى بالتزجج والصلادة العالية، وتتراوح تلك الصلادة تبعاً لمكونات الطلاء، كما يقاوم الخدش والاحتكاك وفعل الأحماض، وهذه الخواص هامة جدا فى الخزف الحجرى والبورسيلان الكيميائى وفى الخزف الحجرى تتداخل طبقة الطلاء مع الجسم معا، ويؤثر لون الطينات تأثير قوى جداً على لون ومظهر الطلاء.

ويمكن الحصول على طلاءات درجات الحرارة العالية بإستخدام عدد قليل من المواد والجرانيت الذى يتكون من الفلسبار والميكا والكوارتز ويكون بذاته قريب من تركيب الطلاء الزجاجى.

ويمكن بإجراء تركيبات عديدة من الفلسبار والحجر الجيرى والكوارتز والطينات إعطاء طلاءات هامة لدرجات الحرارة العالية، وعادة تكون بدرجات لونيه غامقة تبعا لنسبة الحديد والأكاسيد المعدنية الأخرى الموجودة عادة فى الصخور الشائعة.

## الفلسبار كمادة أساسية فى طلاءات درجات الحرارة العالية

أساس أغلب طلاءات درجات الحرارة العالية هو معدن الفلسبار وهو يشبه فى تركيب فرت Frit طبيعى (الفرت هو طلاء زجاجى سابق الصهر).

وغالباً ما يحتوى الفلسبار على ١٠-١٥% مركبات بوتاسيوم أو صوديوم أو كالسيوم مع ٨٥-٩٠% ألومنيا وسيليكا وتكون السيليكا بنسبة حوالى ٦٠% أو أكثر من النسبة الكلية والصيغة الجزيئيه للفلسبار هى.

$K_2O.\ AL_2O_3.\ 6SiO_2$

$Na_2O.\ AL_2O_3.\ 6SiO_2$

$CaO.AL_2O_3.2SiO_2$

## الخامات الأخرى لطلاءات درجات الحرارة العالية

يوجد عدد قليل نسبيا من المواد الخام الملائمة لطلاءات درجات الحرارة العالية، وتلك الطلاءات تحتوى تركيب بسيط من المعادن وأكثرها إستخداما بجانب الفلسبار ما يلى:

### ١- الفلنت Flint

تحتوى أغلب طلاءات درجات الحرارة العالية على ٢٠% فلنت وهى السيليكا والتى تكون أساس كل الزجاج والطلاءات الزجاجية وهى تعمل على ملاءمة الطلاء للجسم وتقلل فرصة حدوث الشروخ به.

## ٢- الطين Clay

يضاف للطلاء لإعطاء إلتصاق أفضل على الإناء فى الحالة الخام (قبل الحريق) وتعمل على انتشار دقائق الطلاء بأن يظل معلقا ولا يرسب، كما تكون مصدر لوجود الألومينا فى الطلاء الذى يزيد اللزوجة عند درجة الإنصهار ويساعد على إرتباط الطلاء بالجسم الخزفى بتكوين طبقة بين الجسم والطلاء Glaze-Body layer.

وعادة ما يستخدم الطين الصينى China Clay (الكاولين) فى الطلاءات خاصة التى تكون شفافة وعديمة اللون – أما إذا كان الجسم غامق اللون يمكن إستخدام طينات الكرة Ball clay للعمل على زيادة الالتصاق وقوة الجفاف أو أن يتم تركيب من الطين الصينى وطينات الكرة معا.

وفى الطلاءات التى تحتوى نسبة عالية من الطين يمكن أن يستخدم طين مطلى لملافاة الإنكماش الزائد الناتج عن إستخدام نسبة عالية من الطين الخام.

## ٣- حجر جيرى Whiting

الحجر الجيرى هو مصدر لإضافة الكالسيوم فى الطلاء الزجاجى، ويمكن أن يصل إلى ١٥% من تركيب طلاءات درجات الحرارة العالية، وبالرغم من أن الحجر الجيرى بذاته مادة حرارية نسبيا، فهو يشكل الصنف الزجاجى عند اتحاده مع الفلسبار ويعمل كمادة مساعدة على الصهر.

## ٤- كربونات الباريوم Barium Carbonate

تضاف فى طلاءات درجات الحرارة العالية كمادة مساعدة على الصهر، ولكن تستخدم فى نسب محددة – عادة لا تزيد عن ١٠%، وإذا وجدت بنسبة أعلى من ذلك فهى تؤدى إلى أن يصبح الطلاء جاف وتؤثر على درجة الانصهار.

ويعمل الباريوم مع أكسيد البورون على إنصهار سائل Fluid ويعطى الباريوم طلاء مطفى وله تأثير على درجات لون الطلاء.

## ٥- كربونات الماغنسيوم Magnesium Carbonate

هى مصدر لإضافة أكسيد الماغنسيوم فى الطلاء – والذى يعمل كمادة مساعدة على الصهر، وتأثيره مشابه للباريوم ويستخدم أيضا فى حدود ١٠% من التركيب كحد أقصى.

## ٦- الدولوميت Dolomite

هو مركب من أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم فى نسب متساوية وتأثيره كما فى إضافة الأكسيدين منفصلين.

### ٧- التلك Talc

هو سيليكات الماغنسيوم ويستخدم كمصدر لإيجاد الماغنسيا فى الطلاء وتأثيره كما فى تأثير كربونات الماغنسيوم، وهو أيضا مصدر لإيجاد السيليكا فى الطلاء.

### ٨- الكوليمانيت Colemanite

يحتوى على كل من الكالسيوم وأكسيد البورون، ويستخدم كمادة مساعدة على الصهر فى طلاءات درجات الحرارة العالية – وهى مادة صهارة قوية جداً لذا تستخدم بنسب صغيرة من التركيب فى درجات الحرارة العالية، عادة لا تزيد عن ١٥% من التركيب، وعند إضافة الكوليمانيت فى تركيب الطلاء يعطى تأثيراً وملمس خاص مميز للطلاء .

### ٩- أكسيد الزنك Zinc oxide

يستخدم أيضا كمادة مساعدة على الصهر فى الطلاءات، وأحيانا يستخدم عندما يتطلب تأثيرات بلورية فى الطلاء، ويستخدم فى نسب قليلة عادة تكون أقل من ٥ % من التركيب.

وبالرغم من العدد المحدود لإستخدام المكونات والمواد الخام فإنه يمكن الحصول على نوعيات مختلفة من الطلاءات بإستخدام نسب مختلفة من المواد الموضحة سابقاً.. والتى يمكن الحصول من خلالها على طلاء معتم أو شفاف – سميك أو رفيع – مطفى أو لامع – خشن وجاف الملمس أو ناعم الملمس كالحجر المصقول – ويتم هذا بتجربة بسيطة لتركيب الطلاء المطلوب.

وفيما يلى بعض تركيبات لطلاءات زجاجية تلائم الخزف الحجرى وتحرق فى درجات حرارة متوسطة (1200-1220°C)

1- Transparent glaze

| | |
|---|---|
| Whiting | 10 |
| Kryolit | 20 |
| Ball clay | 15 |
| Quartz | 50 |
| Zinc oxide | 5 |

2- Transparent glaze

| | |
|---|---|
| Nephelin Syenite | 40 |
| Whiting | 15 |
| Zinc oxide | 10 |
| Ball clay | 5 |
| Quartz | 30 |

3- Semi-mat glaze

| | |
|---|---|
| Feldspar | 30 |
| Ba Carbonate | 10 |
| Zinc oxide | 5 |
| Whiting | 26 |
| Ball clay | 12 |
| Quartz | 17 |

4- White Mat Glaze

| | |
|---|---|
| Feldspar | 40 |
| Whiting | 20 |
| Dolomite | 5 |
| Ba carbonate | 15 |
| Ball Clay | 10 |
| Quartz | 10 |

5- White Mat Glaze

| | |
|---|---|
| Feldspar | 50 |
| Whiting | 5 |
| Dolomite | 15 |
| Lead Disilicate | 10 |
| China Clay | 20 |

6- White glaze

| | |
|---|---|
| Nephelin syenit | 42 |
| Whiting | 10 |
| Zinc oxide | 18 |
| Quartz | 30 |
| Bentonite | 3% |

## البطانات Engobes لأجسام الخزف الحجرى

يمكن باستخدام البطانات الخزفية على أجسام الخزف الحجرى الحصول على تأثيرات جمالية عديدة ومتنوعة والتى تنتج من تركيب بسيط، ويمكن استخدام نفس تركيب الجسم وإضافة الأكاسيد الملونة إليه.

وبسبب لدونة الطينات العالية يراعى تطبيق البطانة على الجسم الرطب لكى لا يحدث له تشقق أو سقوط من على حوائط الإناء عند التجفيف أو الحريق.

وتضاف الأكاسيد الملونة لإعطاء لون الجسم درجات لونية غامقة، وتطبق البطانة بطريقة السكب أو الغمر أو أى طريقة من طرق التطبيق.

ويمكن تطبيق البطانة كطبقة سميكة دون خطورة حدوث الشروخ وذلك عندما يكون الجسم ما زال مبلل أثناء تطبيق البطانة عليه، أما عندما يتطلب تطبيق البطانة فى حالة صلادة الجلد Leather Hard أو الجسم الجاف فإنه ينبغى تقليل نسبة الإنكماش لتركيب البطانة عن الجسم المستخدم لكى لا تحدث عيوب التطبيق.

والتركيب التالى للبطانة يلائم أغلب أجسام الخزف الحجرى

| | (%) |
|---|---|
| China clay | 25 |
| Ball clay | 25 |
| Feldspar | 20 |
| Flint | 20 |
| Zircon | 5 |
| Borax | 5 |

ويضاف الزركون لإعطاء العتامه الجيدة

ويمكن تقليل درجة إنكماش البطانة بأن تقلل نسبة الطينات المذكورة فى التركيب أو أن يستخدم جزء منها مكلس وذلك عند التطبيق على الجسم بصلادة الجلد أو الجاف.

وإذا طبقت البطانة بطبقة رقيقة لا تعط مشاكل تشقق أو سقوط من على الجسم ولكن عندما تطبق سميكا يؤدى ذلك إلى تشققها وتقشرها من على سطح الجسم.. لذا يجب ضبط نسبة الإنكماش للبطانة لملافاة حدوث العيوب.

## تكوين البطانات

لتلوين البطانات يمكن إضافة الأكاسيد المعدنية الموضحة فيما بعد، وعادة ما يتم نخل الأكسيد الملون مع تركيب البطانة لإتمام عملية المزج وأحياناً يتطلب إستخدام طاحونة الكرات للخلط المتجانس للتركيب مع الأكسيد الملون.

وفيما يلى نسب بعض الأكاسيد الملونة المقترح أضافتها للبطانات والألوان الناتجة عنها.

| % | | |
|---|---|---|
| 3 | Iron oxide | Tan |
| 6-10 | Iron oxide | Brown |
| 1 | Cobalt oxide | Blue |
| 1 | Cobalt oxide | Blue-gray |
| 2 | Iron oxide | |
| 3 | Manganese dioxide | Black |
| 5 | Iron oxide | |
| 1 | Cobalt oxide | |
| 4 | Manganese dioxide | Black |
| 6 | Iron oxide | |
| 3 | Copper oxide | |

ويمكن الحصول على العديد من الدرجات اللونية بإستخدام أثنين أو أكثر من الأكاسيد المقترحة وبنسب مختلفة.

والجدير بالذكر، أن البطانات الملونة لا يتضح لونها إلا تحت طلاء منصهر وترجع درجة وضوحها إلى نوع الطلاء الزجاجى وسمكه وجو الحريق.

## أنواع طلاءات الحريق العالى

فيما يلى تصنيف لطلاءات الحريق العالى تبعا للمكون الأساسى فى التركيب

### ١- الطلاءات الفلسبارية

تحتوى من ٤٠-٥٠% فلسبار كما فى أى طلاء لدرجات الحرارة العالية لذا يعتقد أن كل طلاءات الحريق العالى فلسبارية.

ولكن فى تلك النوعية يمكن أن تصل النسبة إلى ٩٠% فلسبار من تركيب الطلاء وفى تلك الحالة يعطى طلاء متشقق وتأثير (قشر السمك)، وهو معتم أو نصف معتم ومظهره يطلق عليه (مثل اللبن Milky).

وأغلب الطلاءات الصينية القديمة المميزة، يمكن أن تكون صنعت بإستخدام فلسبار مضاف إليه مساعدات صهر أخرى ببعض الرماد أو الجير أو كلاهما معا..

وأفضل النتائج عند مخروط Cone 10 حوالى (١٣٠٠°م).

ومن تركيبات الطلاء المحتوى على نسبة عالية من الفلسبار ما يلى:

| | |
|---|---|
| 85% | Cornish stone (Feldspar) |
| 15% | Whiting |

وهذا الطلاء عرضه للتشقق على أغلب الأجسام الخزفية، ولكن يعطى سطح ناعم ونصف مطفى.

والتركيب التالى مضاف إليه رماد العظام كماده صهاره – ويعطى سطح ناعم بملمس الزبد، معتم وناعم السطح

| | |
|---|---|
| Soda Feldspar | 80 |
| Whiting | 10 |
| Clay | 10 |
| Bone ash | 2 |

كما يمكن الحصول على تأثيرات عديدة بإضافة المواد المساعدة على الصهر للفلسبار المكون الرئيسى فى الطلاء.

**٢- طلاءات معتمه تحتوى نسبة عالية من الطينات**

أنواع مميزه من طلاءات الخزى الحجرى المعتمه تحتوى على نسبة عالية من الطينات ونسبة قليلة من السيليكا – وهو نوع معتم جداً، وله لمعة الزلط المصقول، ويمكن تطبيقه بأمان فى طبقه خفيفة.

ولكن تلك النوعية من الطلاءات عرضه لحدوث التشقق بها لذا لا تلائم استخدامها فى أدوات المائدة حيث تلوث الشقوق عند الاستخدام مع صعوبة تنظيف السطح.

وفيما يلى أحد التركيبات لطلاء مطفى يحتوى على نسبة عالية من الطينات.

| | |
|---|---|
| Feldspar | 49.0 |
| China clay | 25.0 |
| Dolomite | 22.5 |
| Whiting | 3.5 |

**٣- طلاءات الباريوم المطفيه**

تشابه فى مظهرها الطلاء السابق، ولكن بإضافة نسبة عالية من الباريوم والذى يؤدى إلى ألوان غير معتادة ومختلفة عن نوعيات الطلاءات الأخرى.

ويؤدى الباريوم إلى عتامة تامة للطلاءات ويتنوع تأثيرات الملمس الناتجة من ملمس ستانى إلى ملمس جاف يشبه أسطح الحجر.

عندما تضاف الأكاسيد الملونه لطلاءات الباريوم تنتج تأثيرات مميزه، حيث ينتج لون أزرق (ألترامارين Ultramarine) قوى بإضافة أكسيد النحاس إلى طلاء يحتوى نسبه عالية من الباريوم بدلا من اللون الأخضر العادى، كما يؤدى إلى حدوث ألوان براقه بإضافة الفاناديوم والكوبالت والحديد والكروم إلى طلاء يحتوى نسبة عالية من الباريوم.

وفى حريق الأختزال فإن طلاء الباريوم المضاف إليه أكسيد حديد يعطى لون اصفر بدلا من الرمادى أو البنى كما يعطى النحاس درجات من الأحمر والأزرق المنقط.

وفيما يلى تركيب طلاء يحرق إلى مخروط Cone 10 (١٣٠٠°م) ليعطى سطح مطفى مميز ويجب أن يطبق فى طبقة خفيفة.

| | |
|---|---|
| Barium Carbonate | 20 |
| Flint | 10 |
| China clay | 10 |
| Feldspar | 55 |
| Dolomite | 5 |

### ٤- طلاءات الماغنيسيا

هذا النوع من الطلاءات يلاقى إقبالاً من خزافى الخزف الحجرى لتميز سطحه بملمس الزبد، وهو وسط بين الطلاء المطفى واللامع. وتبعا لنسبة الماغنيسيا المضافه وسمك التطبيق ينتج طلاء مطفى أو نصف مطفى.

وفيما يلى طلاء ماغنيسيا يحرق عند حوالى مخروط Cone 10 (١٣٠٠°م)، يعطى عتامه جيدة عندما يطبق سميك، ويحتاج إلى بطانه عندما يطبق فى طبقه خفيفة (الكوليمانيت هى بورات الكالسيوم المائية والدولوميت كربونات الكالسيوم والماغنسيوم كما ذكر سابقا).

| | |
|---|---|
| Feldspar | 40 |
| Colemanite | 13 |
| Dolomite | 7 |
| Talc | 15 |
| China clay | 5 |
| Flint | 20 |

### ٥- طلاءات الكالسيوم

أغلب طلاءات الحريق العالى تحتوى على نسبة من الجير كمادة مساعدة على الصهر قوية، والتركيب التالى لطلاء يحتوى على نسبة ٢٦٪ كربونات كالسيوم، ويعطى طلاء معتم عندما يكون سميك وشفاف عندما يطبق فى طبقه خفيفة.

| | |
|---|---|
| Flint | 30 |
| Whiting | 26 |
| Feldspar | 31 |
| Clay | 13 |

## ٦- طلاءات الكوليمانيت

الكوليمانيت (بورات الكالسيوم المائية　　$(2\ CaO.\ 3B_2O_3.\ 5H_2O$

وتتنوع فى نسب المكونات الثلاثة له إلى　$CaO.\ 2B_2O_3.\ 6H_2O$　وهو مادة مساعدة على الصهر نشطة جداً فى درجات الحرارة المختلفة التى تستخدم فى حرق الفخار، ويستخدم فى درجات الحرارة العالية بنسب بسيطة من تركيب الطلاء.

والطلاء المحتوى على نسبه من الكوليمانيت يكون لامع ومسيل، ويحيل أن يكون (مثل اللبن Milky) وفى بعض الأحيان يبدو معتماً.

وفيما يلى تركيب ينصهر عند مخروط Cone 8 (١٢٥٠°م) ويسيل فى درجات الحرارة الأعلى التى تصل إلى ١٣٠٠°م ويعطى سطح ناعم لامع.

| | |
|---|---|
| Whiting | 10 |
| Colemanite | 12 |
| Ba Carbonate | 8 |
| Mg Carbonate | 3 |
| Feldspar | 30 |
| Flint | 32 |
| Clay | 5 |

## ٧- طلاءات الزنك

نسبة قليلة من الزنك تكون كافيه فى طلاءات الحريق العالى لإعطاء إنصهار ناعم، يستخدم فى حدود ٨% من التركيب وأعلى من تلك النسبة يؤثر على ملمس ومظهر الطلاء، كما يعطى عدم إنتظام فى توزيع اللون مما يكون له أحياناً جانب جمالى كما يؤثر على الألوان الناتجة من أكاسيد الحديد أو الكروم.

وما يلى إحد التركيبات المعتمة البيضاء والذى يؤدى الزنك هنا فعل كل من المادة المصهره والمعتمة، يحرق فى ١٢٥٠°م.

| | |
|---|---|
| Feldspar | 50 |
| China clay | 15 |
| Flint | 10 |
| Whiting | 10 |
| Zinc Oxide | 10 |
| Ti Oxide | 5 |

### ٨ – الطلاءات الجافة Dry glaze

طلاءات بتأثيرات جافة وأرضية، وهو طلاء ليس به خاصية الإنصهار ولكن يعطى سطح يشبه الطلاء (تأثير نصف طلاء زجاجى) لا يلائم الإستخدام فى الأدوات المستخدمة فى الطعام

وهو يعطى طابع جيد عندما يكون ملمس السطح وسط بين الطلاء والبطانة ويمكن أن تندرج تحت تصنيف البطانة المزججة، وفيما يلى تركيب بطانة يمكن تكوينها بأكاسيد الحديد والروتيل والإليمانيت والمنجنيز والزركونيا لإعطاء العتامة.

| | |
|---|---|
| Fire clay | 50 |
| Flint | 20 |
| Feldspar | 10 |
| Fine grog | 10 |
| Zirconium oxide | 10 |

وتطبق على جسم رطب أو فى مرحلة صلادة الجلد ويحرق حريق واحد مع الجسم

### اللون فى طلاءات الحرارة العالية

تتميز درجات الحرارة العالية بمجموعة كبيرة من الدرجات اللونية الغنية والمتنوعة ولا تكون براقة كما فى درجات الحرارة المنخفضة.

وفيما يلى قائمة بتكوينات من الأكاسيد الملونة والألوان المتوقعة منها وكذلك قائمة من النسب المعتاد إستخدامها فى تلوين الطلاءات فى كل من الحريق المؤكسد أو المختزل،جدول رقم (١-٣)

### الطلاءات الطبيعية Natural glazes

الطلاءات الطبيعية من إحد جماليات الحريق العالى حيث السهولة مع المواد المتنوعة التى تنصهر لتكّون طلاء زجاجى – ففى درجات الحرارة المنخفضة غالباً ما يستخدم إحد مواد الصهر الفعالة فى الطلاء مثل (الرصاص – الصوديوم – البوتاسيوم – البورون) للوصول إلى إنصهار زجاجى، ولكن فى درجات الحرارة الأعلى من مخروط Cone 8 (١٢٥٠°م) فإن العديد من المواد الطبيعية سوف تنصهر، ولذا فإن مجال عمل طلاءات فى درجات الحرارة العالية يكون أكبر ومتنوع من المواد الطبيعية أكثر من المواد المحضرة.

وسبق ذكر بعض الطلاءات التى تحتوى مواد طبيعية تنصهر بذاتها مكونه طلاء زجاجى وذلك مثل الفلسبار بمفرده أو بتركيب بسيط من الفلسبار والحجر الجيرى والفلنت والطين (وكلها مواد طبيعية) توجد فى أماكن متعدده ولتنتج طلاءات ناجحة.

جدول رقم (١) : قائمة بالأكاسيد الملونة و الألوان الناتجة عنها

| | |
|---|---|
| Iron + | cobalt—gray-blue<br>copper—warm green, metallic green, black<br>manganese—brown<br>vanadium—ocher<br>rutile—ocher, brown<br>nickel—brown to gray<br>chrome—blackish green |
| Copper + | cobalt—blue-green<br>manganese—brown, black<br>vanadium—yellow-green<br>rutile—warm or textured green<br>nickel—gray-green<br>chrome—green |
| Manganese + | vanadium—yellowish brown<br>nickel—gray or brown<br>rutile—brown<br>cobalt—blue-purple<br>chrome—brown |
| Nickel + | vanadium—gray, brown<br>rutile—brown<br>cobalt—gray-blue<br>chrome—brown |
| Cobalt + | vanadium—grayed yellow or mustard<br>rutile—textured warm blue or gray-blue<br>chrome—blue-green |
| Rutile + | vanadium—ocherish yellow<br>chrome—warm green |
| Chrome + | vanadium—yellow-green |

جدول رقم (٢) : قائمة بنسب الأكاسيد و اللون الناتج فى الحريق المؤكسد

## *Suggested Additions of Coloring Oxides to Oxidation Glazes*

| | | |
|---|---|---|
| Cobalt carbonate | ½% | medium blue |
| Cobalt carbonate | 1% | strong blue |
| Copper carbonate | 2% | light green |
| Copper carbonate | 4% | strong green |
| Iron oxide | 2% | tan |
| Iron oxide | 4% | medium brown |
| Iron oxide | 6% | dark brown |
| Manganese carbonate | 4% | medium purple |
| Manganese carbonate | 6% | dark purple |
| Chrome oxide | 2% | green |
| Rutile | 5% | tan |
| Nickel oxide | 2% | gray or brown |
| Iron chromate | 2% | gray |
| Vanadium stain | 6% | medium yellow |
| Cobalt carbonate<br>Iron oxide | ½%<br>2% | gray-blue |
| Cobalt carbonate<br>Manganese carbonate | ½%<br>5% | purple-blue |
| Cobalt carbonate<br>Copper carbonate | ½%<br>2% | blue-green |
| Copper carbonate<br>Iron oxide | 2%<br>2% | warm green |
| Copper carbonate<br>Vanadium stain | 3%<br>3% | yellow-green |
| Copper carbonate<br>Rutile | 3%<br>3% | warm green |
| Cobalt carbonate<br>Rutile | ½%<br>3% | warm blue |
| Vanadium stain<br>Rutile | 5%<br>4% | warm ocher |

جدول رقم (٣) : قائمة بنسب الأكاسيد و اللون الناتج فى الحريق المختزل

*Suggested Additions of Coloring Oxides to Reduction Glazes*

| | | |
|---|---|---|
| Cobalt carbonate | ½% | medium blue |
| Cobalt carbonate | ¼% | light blue |
| Cobalt carbonate | ½% | turquoise |
| Chrome oxide | 1% | |
| Cobalt carbonate | ½% | warm textured blue |
| Rutile | 3% | |
| Cobalt carbonate | ½% | gray-blue |
| Nickel oxide | 1% | |
| Nickel oxide | 1% | gray or gray-brown |
| Manganese carbonate | 4% | brown |
| Manganese carbonate | 4% | textured brown |
| Rutile | 4% | |
| Ilmenite | 3% | spotty brown |
| Ilmenite | 2% | textured yellow-brown |
| Rutile | 2% | |
| Iron | 1% | celadon |
| Iron | 2% | dark olive celadon |
| Iron | 4% | mottled green or brown |
| Iron | 10% | saturated iron red |
| Copper | ½% | copper red |
| Copper | 1% | deep copper red |
| Copper | 3% | red to black |
| Cobalt | 1% | black |
| Iron | 8% | |
| Manganese | 3% | |

والجدير بالذكر، أن العمل فى درجات الحرارة العالية يكون أكثر سهولة للحصول على الطلاءات الزجاجية وعلى آلاف الألوان والملامس الممكن الحصول عليها مع جماليات خاصة بتلك الطلاءات وتكون بسيطة تماما.

ومن الخامات المصريه العديد الملائم لإنتاج نوعيات من الطلاءات الزجاجية الطبيعية والبطانات وخاصة ما تحتوى على نسب من الشوائب مثل طفلة إسنا وقنا والبلاص وبعض طفلات الفيوم وغيرها.

## ١- طلاءات طينية Slip glazes

تحتوى على نسبة أساسية من الطين – حيث تنضج الطينات الشائعة التى تحتوى نسبة عالية من أكاسيد الحديد والشوائب الأخرى لتلتصق بالجسم الصلد عند حوالى مخروط Cone 04 (١٠٠٠ °م) أو أقل، وتحرق لدرجات زائدة إلى مخروط حوالى Cone 4 (١١٦٠°م) مسببة تزجج الطينات ثم تنصهر – وبعض الطينات مثل طينات الخزف الحجرى يتحمل درجات الحرارة العالية إلى مخروط Cone 9 (١٢٨٠°م) أو أعلى وكذلك الطين النارى والكاولينات.

والطينات التى تنصهر تماما عند مخروط Cone 10 or 11 (١٣٠٠-١٣٢٠°م) يمكن إستخدامها كطلاءات للخزف الحجرى، وبعض الطينات لا تحتاج إلى أى إضافات مكونه ملمس جيد بدون عيوب التشقق أو التجمع أو الثقوب الإبرية.

وكما ذكر سابقا توجد الخامات المحلية الملائمة التى تحتوى شوائب الحديد والمعادن الأخرى تلائم تلك النوعية من الطلاءات منها طفلة الفيوم وإسنا وقنا والبلاص والأرمل وغيرها

والجديد بالذكر أن الطينات التى يصنع منها الطوب الأحمر تكون ملائمة لعمل طلاءات طينية وذلك لإنصهارها فى درجة ملائمة.

ومن السهولة اختبار مدى ملاءمة الطينة لعمل طلاء زجاجى وذلك بأن توضع قطعة على (شقفة من الطوب الحرارى) وتحرق فإن انصهرت فى طبقة زجاجية بدون عيوب كانت ملائمة لعمل الطلاء الزجاجى، أما إذا ظلت بها فقاقيع هوائية تكون متطلبة زيادة درجة الحرارة أو إضافة بعض المواد المساعدة على الصهر، وتلك الطينات المنصهرة يميل لونها إلى الأسود فى درجات الحرارة العالية.

ولتطبيق الطلاء الطينى بعض المشاكل وذلك لإنكماشه وحدوث تشققات ويمكن أن يسقط من على سطح الإناء، لذا تطبق تلك الطلاءات كما فى البطانات فى مرحلة صلاده الجلد للأجسام وذلك لكى يتم الإنكماش معا ولا ينفصل من على سطح المنتج.. وفى تلك الحالة فإن الجسم والطلاء يحرقا معا فى حريق واحد Once firing.

## ٢- طلاء الرماد Ash glazes

تلك النوعية من الطلاءات الطبيعية بإستخدام رماد الخشب أو بعض النباتات وهذا الرماد يحتوى مواد قلويه فى صورة (ذائبة أقل أو أكثر) مع سيليكا وألومينا ونسب بسيطة من عناصر أخرى.. ويتنوع تركيب الرماد من نوع إلى آخر تنوعا كبيراً معتمداً على مصدر هذا النبات - وبعض الرماد يتكون بصوره عالية من السيليكا ونسب قليله جدا من الصودا والبوتاسا أو أى عناصر أخرى وذلك مثل قش الأرز كما أن بعض الرماد يكون سريع الإنصهار فى حين الآخر يكون حرارى وصعب الإنصهار لذا يجب التجربة لمعرفة مدى إستخدام الرماد فى الطلاء.

والرماد الذى يكون بخواص إنصهار جيدة يعمل على ملاءمته فى إعطاء تأثيرات جمالية كمادة لطلاء الخزف الحجرى.

ومن صعوبة إستخدام الرماد فى الطلاء وجود مشاكل غير معتاده حيث اختلاف المصدر يغير النتيجة، كما أنه يتطلب حرق كميات كبيرة من الخشب للحصول على كمية صغيرة من الرماد — لذا يجب الحصول عليه من مصدر تجاري أو أغراض زراعية من مصانع الخشب أو حرق البقايا الزراعية كما يمكن استخدام رماد أفران حريق الخشب.

ونسبة الرماد فى التركيب يأتى بالتجربة ويمكن أن يكون بنسبة أساسية تصل إلى ٥٠% من التركيب وتكون النسبة المتبقيه من (طين — فلسبار — وفلنت).

كما يمكن أن يضاف الرماد، إلى الطلاء بنسب أقل .

وتلون طلاءات الرماد كما فى النسب المعتادة فى الطلاءات الزجاجية الأخرى، وفى حريق الأكسده يميل لون طلاء الرماد إلى البيج قليلا لأحتواء الرماد نسبة بسيطة من الحديد وفى الاختزال يميل اللون إلى الرمادى أو الأخضر الرمادى.

## ٣- الطلاء الملحى Salt glaze

هو المرتبط بإجسام الخزف الحجرى وليس أى نوعية أخرى — وهذا الأسلوب من الطلاء يحتاج إلى فرن خاص لا يستخدم فى أى غرض آخر.

الطلاء الملحى دائما شفاف بدون لون ويعتمد لون الطلاء على لون الجسم أو البطانة وهو لامع ومن غير الممكن أن يكون مطفى إلا إذا كان فى طبقة رفيعة جدا.

وجمال الطلاء فى ملمسه والذى يشابه (قشر البرتقالة).

ومن عيوب الطلاءات الملحية عدم إنتظام الطلاء الناتج بسبب حساسية الإختزال، وكذلك أسلوب الحريق حيث نثر الملح فى الفرن أثناء الحريق ليتبخر ويتفاعل مع سطح المنتج ليكّون الطلاء الزجاجى فإنه أيضا يترسب ويتفاعل مع حوائط الفرن وأثاثه من أرفف وأدوات رص وحول فوهات

اللهب Burners، ومن أخطر العيوب هو تآكل جسم الفرن بسبب أبخره الملح، والذى يحتاج إلى إعادة بناء بصورة أكبر من الحريق المعتاد.

كما أن أبخرة الملح لا تصل إلى الأجزاء الداخلية من المنتجات فلا تكون طبقة كافية ملائمة لتغطية الأسطح الداخلية.

وأحيانا، عندما يستخدم الخشب كوقود فى الفرن فيمكن أن يخلط الرماد بالملح عند نثره بالفرن ليعطى تنوع فى التأثيرات الجمالية فى كل من اللون والملمس – ويحرق عادة بين مخروط Cone-02-12 (١٠٦٠°-١٣٥٠°م).

## الحريق

من المراحل الهامة فى إنتاج نوعيات الخزف هو تعرضها للتسخين لكى يتصلد الجسم ويكتسب مواصفات المنتج وبمرور الأجسام الخزفية فى دائرة الحريق تحت فعل التسخين يبدأ فى حدوث تغيرات طبيعية وكيميائية داخل الجسم نتيجة تغير فى المعادن المكونة للجسم بإرتفاع درجات الحرارة.

ومن الظواهر الطبيعية التى تحدث عند إجراء التسخين لاجسام خزفية ما يعرف بالتلبيد Sintering وفيه تصبح الدقائق فى تكتل متلامس عند تسخينها إلى درجة حرارة ملائمة، وينقص نتيجة لذلك كل من مساحة السطح Surface Area والمسامية الكلية.

ويحدث التلبيد بإدماج الدقائق وتقل المسافة بين مركزى الدقائق مما يسبب عنه الإنكماش نتيجة الإدماج مع تقليل المسامية التى تستمر فى النقص مع زيادة درجة الحرارة ووقت الحريق بدرجة مناسبة.

وفى الأجسام المركبة والمكونة من بعض المواد التى عادة ما تكون (طفلة وفلسبار وكوارتز) تكون ظاهرة التلبيد أكثر تعقيداً فى الجسم، وعند تواجد السائل الزجاجى بقدر كاف تملأ كل المسام المفتوحة بهذا السائل ويكون الناتج جسم كثيف متزجج.

## تحديد الخواص للأجسام المحروقة

تحدد خواص الأجسام الخزفية المحروقة نوع الجسم المنتج وتصنيفه إما خزف أرضى أو حجرى أو بورسيلان ويحدد أيضا مجال إستخدامه وذلك كما فى منتجات الخزف الحجرى المتنوعة التى تتدرج خواصها من أجسام مسامية إلى غير مسامية يحدد تبعا لها الإستخدام من منتجات ثقيلة Heavy إلى راقية Fine تبعا لدرجة المسامية وإمتصاص الماء.

كما ترتبط بعض الخواص بالأخرى كما فى إرتباط الكثافة بدرجة التلبيد والمسامية الحقيقيه للجسم ودرجة التزجج وكذلك كما فى إرتباط نسب المسامية وإمتصاص الماء بدرجة مقاومة الجسم للأحماض حيث كلما قل إمتصاص الماء زادت معه مقاومة الجسم للأحماض.

كذلك يمكن تعيين الخواص الأخرى مثل المقاومة الكهربية أو الحرارية والتى ترتبط أيضا بدرجة المسامية والكثافة للجسم ومنه يتم تحديد الإستخدام الملائم للجسم الناتج.

كما يمكن إجراء تحديد خواص الأجسام عند دراسة تأثير أحد المكونات على خواص الجسم وكذلك فى درجات الحرارة المختلفة أو دراسة تأثير طريقة التشكيل على خواص الأجسام وغيرها، وذلك لتحديد أنسب درجات الحرارة التى يحرق عندها الأجسام الخزفية المنتجة وإعطاء أفضل المواصفات الملائمة لأنتاج النوعيات الخزفية تبعاً للاستخدام المطلوب.

## التصميم وإرتباطه بالخامة والإستخدام

يرتبط تصميم المنتج الخزفى إرتباطا كبيرا بمواصفات الخامة المستخدمة فى إنتاجه حيث تؤثر الخامة فى إعطاء مواصفات خاصة فى شكل المنتج تبعا لخواصها ونوعيتها وتعتبر أهم العناصر المرتبطة بالتصميم — ويتضح ذلك عند إستخدام أجسام البورسيلان وأرتباطها بإحتياطات هامة عند التصميم وذلك لحدوث درجة عالية من التزجج تنشأ عنها عيوب فى الشكل وأنبعاج وإلتواء ولها مواصفات خاصة عند التصميم لملافاة تلك العيوب.

وتتميز نوعيات الخزف الحجرى بإمكان التصميم بحرية لملاءمة الخامة للأشكال المختلفة إلا فى بعض النوعيات الراقية التى تكون فيها درجة تزجج الخامة عالى فإنها تشابه البورسيلان فى الإحتياطات الواجبة عند التصميم والتصنيع.

ولكل نوعية من المنتجات الخزفية مواصفات جمالية خاصة بها فى اعطاء تصميمات ملائمة كما فى الخزف الأرضى أو الحجرى أو البورسيلان ومنها يتميز الخزف الحجرى بمدى كبير من التصميمات المختلفة تبعا للإستخدام المتنوع من منتجات ثقيلة إلى راقية والمرتبط بدرجة مسامية الجسم من مسامى إلى كثيف فى الأنواع الراقية من الخزف الحجرى.

وترجع إمكانية التنوع فى تصميم منتجات الخزف الحجرى إلى ملاءمة تلك النوعية لإستخدام العديد من طرق التشكيل المختلفة وإستخدام الزخارف والطلاءات المتنوعة، كذلك يتميز بأساليب خاصه لا تلائم بعض النوعيات الخزفية الأخرى وذلك كما فى الطلاء الملحى Salt glaze الذى ارتبط بأجسام الخزف الحجرى فى طلاء الأوانى بإسلوب متميز (وكما ذكر سابقا) أنه يتم نثر ملح كلوريد الصوديوم داخل الفرن أثناء حريق المنتجات وأمكن تطور الأسلوب فى استخدامه لإعطاء

مواصفات جمالية بإستخدام زخارف وألوان متميزة بجانب الملمس الخاص بالطلاء الملحى الذى عادة ما يكون بملمس قشرة البرتقالة.

وبهذا التنوع فى مجال الخزف الحجرى فى كل من طرق التشكيل والزخرفة وإمكانيات الطلاء وتميزه بخواص فى المظهر حيث الملمس الناعم الناتج من تزجج الجسم واللون الناتج من الشوائب فى الجسم المتزجج ما يجعل المجال واسعا لإعطاء تصميمات لأشكال متنوعة منفردة.

ومما سبق نجد أن الخامة تضيف إلى التصميم خصائص وطابع جمالى خاص بها إذا لم تراعى لن تعط الشكل المرضى المطلوب والملائم للغرض الذى صنع من أجله خاصة إذا تميز الجسم بملمس أو لون معين يكون له مراعاة عند تصميم المنتج حيث يؤثر على مظهر وشكل المنتج النهائى.

كما يتميز الخزف الحجرى بمدى استخدام كبير لطرق الزخرفة المتنوعة وطلاءات درجات الحرارة العالية التى تتميز كل منها بطابع خاص (والتى ذكرت سابقا) ومدى كبير من الدرجات اللونية فى الدرجات العالية تختلف عما ينتج فى درجات الحرارة المنخفضة نسبيا.

وبجانب ما سبق ذكره فإن تميز أجسام الخزف الحجرى بالملمس الناعم والرنين العالى الناتج عن التزجج واللون المميز ما يجعل المجال واسعا لعمليات الابتكار والإبداع لإنتاج أوانى ذات طابع مميز ومواصفات جيدة وتغلب عليها الصفة الجمالية بجانب جودة الخامة فى إعطاء جسم كثيف يلائم الاستخدامات فى مجالات مختلفة بخواص محددة.

# المراجـــع العربيـــة

١- **الصناعات الخزفية والمنسوجات** – المجلس الثقافى البريطانى – ويسترهام انجلترا – ١٩٧٧.

٢- ثمانى العادلى (دكتور) **فصول فى الخزف – (الأجسام والطلاءات)** – الناشر المؤلفه – القاهرة– ٢٠٠١.

٣- ثمانى محمد نصر العادلى – "التجميل المعمارى والطابع المميز للمجتمعات العمرانية الجديدة" **مؤتمر الفنون التشكيلية وأثرها على الحياة اليومية** – كلية الفنون الجملية – جامعة المنيا – المنيا – ١٩٨٨.

٤- ثمانى محمد نصر العادلى "**الخزف الحجرى فى مصر وإمكانية إستخدامه فى الأدوات المنزلية**" (رسالة ماجستير) كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان – القاهرة – ١٩٧٩.

٥- ثمانى محمد نصر العادلى "**تقنيات جديدة للخزف الحجرى الملون فى مجال العمارة الخارجية**" (رسالة دكتوراه)– كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان – القاهرة – ١٩٨٥.

# المراجع الأجنبية


1- **Bing & Gröndahl Copenhagen Porcelain**, Bing & Gröndahl Copenhagen Porcelain, Ltd., Denmark.

2- Charleston, R.J. (Ed.), **World Ceramics**, the HAMLYN Pub. Group Ltd., London, New York., 1975.

3- Cooper, E., **Handbuch der Keramikglasur** Otto Maier Verlag, Ravensburg, Germany, 1985.

4- **Egyptian Plaque in Black Basalt**, Special series by Wedgwood, Ltd. Ed. Of 250, England.

5- Hamer, F., & J.., **The Potter's Dictionary of Materials & Techniques**, A & C Black, London, 1997.

6- Hamilton, D., **The Thames & Hudson Manual of Stoneware & Porcelain** Thames & Hudson Ltd., London, 1982.

7- **Jasper Portrait Medallions by Wedywood**, Iosiah Wedgwood & Sons. Ltd., England 1973.

8- Kenny, J.B., **Ceramic Design**, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., London, 1973.

9- Norton, F.H., **Fine Ceramics, Technology & Applications**, McGraw-Hill Book com., New York, London, 1970.

10- Pfannkuche, B., **DuMont's Handbuch der Keramikglasur, Materials-Rezepte-Anwendung**, DuMont Buchverlag, Köln, Germany, 1986.

11- Rado, P., Ceram. F., **An Introduction to the technology of pottery**, Pergamon Press, London, Paris, 1969.

12- Rawson, Ph. **Ceramics**, William Clowes and sons, Ltd. London, 1971.

13- Rhodes, D., **Stoneware & Porcelain, the Art of High-Fired Pottery**, Pitman Publ., great Britain, 1978.

14- Riedinger, A., **Töpfern, Buch und Zeit Verlagsgesellschaft mbH, Köln**, Germany, 1980.

15- Singer, F. **Industrial ceramics**, Chapman & Hell, Ltd., London, 1971.

16- Troy, J., **Salt-Glazed Ceramics**, Waston-Guptill Pub., New York, Pitman Publishing, London, 1977.

17- **Wedgwood jasper ware**, Josiah Wedgwood & Sons Ltd., London, New York.

# الفصل الثانى

# الحراريات

## المحتويات


| | صفحة |
|---|---|
| **الجزء الأول : المواد الخام الحرارية** | ٧٧ |
| **مقدمة** | ٧٧ |
| **أولا: المواد الحرارية الحامضية** | ٨٠ |
| **الطينات** | ٨٠ |
| الكاولين - الطين الصينى - مجموعة السيليمانيت | ٨١ |
| الأندلوزيت - الكيانيت | ٨٢ |
| السيليمانيت - الموليت | ٨٣ |
| **معادن السيليكا** | ٨٤ |
| الجانستر - الحجر النارى | ٨٤ |
| **الطينات و المعادن ذات محتوى الألومينا العالى** | ٨٥ |
| الألومينا الممهاه | ٨٥ |
| **ثانيا : المواد الحرارية القاعدية** | ٨٥ |
| **الألومينا** | ٨٦ |
| الدياسبور - الجبسيت - البوكسيت | ٨٧ |
| **خامات الحديد - الجير - الماغنيسيا** | ٨٨ |
| **الدولوميت** | ٨٩ |
| **الأكاسيد الحرارية** | ٨٩ |
| ١-أكسيد البريليوم | ٨٩ |
| ٢-أكسيد السيريوم -٣-ثانى أكسيد الثوريوم-٤-أكسيد التيتانيوم | ٩٠ |
| ٥-أكسيد اليوتيريوم -٦-أكسيد الزركونيوم | ٩١ |
| **ثالثا : المواد الحرارية المتعادلة** | ٩٢ |
| **الكربون** | ٩٢ |
| أ-الكربون -ب-الجرافيت | ٩٢ |
| جـ-الكوك - د - الأنتراسيت | ٩٣ |

## تابع :المحتويات

| | صفحة |
|---|---|
| هـ- الفحم | ٩٤ |
| **الكربيدات** | ٩٤ |
| أ- الكربوراندم -ب- كربيد الزركونيوم | ٩٤ |
| جـ- كربيد التيتانيوم - د -كربيد البورون | ٩٥ |
| **النتريدات** | ٩٥ |
| أ- نتريد البورون | ٩٥ |
| **الكروميت** | ٩٦ |
| **العناصر الحرارية** | ٩٦ |
| أ- البورون | ٩٦ |
| ب- الحديد الزهر - جـ -الموليبدنم - د - النيكل | ٩٧ |
| **الجزء الثانى : الأجسام الحرارية** | ٩٨ |
| **أولا : الحراريات الحامضية** | ٩٨ |
| **١- طوب السيليكا النارى** | ٩٨ |
| أهم إستخدامات طوب السيليكا النارى - أهم أنواعه | ٩٩ |
| المواد الرابطة -أ- الجير -ب- الطين -جـ- مركبات الصودا | ١٠٠ |
| د-كبريتات الألومنيوم-هـ-كلوريد الكالسيوم-و-مركبات الماغنيسيوم | ١٠١ |
| **٢- طوب التريديميت** | ١٠٢ |
| **٣- طوب الدياتوميت** | ١٠٢ |
| **٤- طوب نصف سيليسى** | ١٠٢ |
| **٥- طوب السيليكات** | ١٠٢ |
| **ثانيا : الحراريات القاعدية** | ١٠٣ |
| **١- طوب الماغنيسيا** | ١٠٣ |
| طريقة صناعته - الخامات المستخدمة | ١٠٣ |

تابع :المحتـويـات


| | صفحة |
|---|---|
| المواد الرابطة – الحريـق – خواص طوب المـاغنيسيا | ١٠٤ |
| **٢– طوب الدولوميت** | ١٠٥ |
| إستخداماته – الخامات المستخدمة | ١٠٥ |
| خواص طوب الدولوميت | ١٠٦ |
| **٣– طوب الزركونيا** | ١٠٦ |
| إستخداماته – الخامات المستخدمة | ١٠٦ |
| المواد الرابطة المستخدمة – طريقة التصنيع – الطحن والخلط | ١٠٧ |
| التشكيل – التجفيف – الحـريـق – خواص طوب الزركونيا | ١٠٨ |
| **٤– طوب الزركون** | ١٠٩ |
| المواد الرابطة – الخـواص | ١٠٩ |
| **ثالثا : الحراريات المتعادلة** | ١٠٩ |
| **١– طوب الكـربون** | ١٠٩ |
| إستخداماته – الخامات المستخدمة – المواد الرابطة | ١١٠ |
| إعداد التركيب – التشكيل – التصلد – الرص | ١١٠ |
| الأفران – الحريق – خواص طوب الكربون | ١١١ |
| **٢– طوب الكروميت** | ١١٢ |
| إستخداماته – الخامات المستخدمة – المواد الرابطة | ١١٢ |
| تجهيز الخامات – التشكيل – التجفيف | ١١٢ |
| الحـريـق – خواص طوب الكروميت | ١١٣ |
| **٣– طوب كربيد السيليكون** | ١١٣ |
| الخامات المستخدمة – المواد الرابطة | ١١٣ |
| إعداد الخامات – التشكيل – التجفيف –الحـريـق | ١١٤ |
| خواص طوب كربيد السيليكون | ١١٤ |

## تابع :المحتـويـات


| | صفحة |
|---|---|
| **الجزء الثالث : الحراريات الخاصة** | ١١٥ |
| مقـدمـة | ١١٥ |
| أولا : أجسام الأكسيد الواحد | ١١٦ |
| ثانيا : أجسام مخاليط من الأكاسيد | ١١٦ |
| ثالثا : أجسام من المركبات | ١١٦ |
| **إنتاج حراريات الألومينا الراقية** | ١٢٠ |
| أ- المواد الخام – ب- التركيب | ١٢٠ |
| جـ- طرق التشكيل | ١٢١ |
| ١- التشكـيل بطريقة الضغط الجاف | ١٢١ |
| ٢- التشكيل بطريقة البثق-٣- التشكيل بالضغط المتساوى | ١٢٢ |
| ٤- التشكيل بطريقة الحقن | ١٢٣ |
| ٥- التشكيل بطريقة الصب – ٦-التشكيل بالكبس الساخن | ١٢٦ |
| ٧- التشكيل بالبثق الساخن | ١٢٧ |
| **حراريات البريليا** | ١٢٨ |
| المواد الخام – طريقة التصنيع – التطبيقات | ١٢٨ |
| **حراريات الماغنيسيا الملبدة** | ١٢٩ |
| بلورات الماغنيسيا الشفافة عديدة التبلور – تطبيقاتها | ١٣٠ |
| **منتجات الزركونيا الملبدة** | ١٣٠ |
| التطبيقات | ١٣٠ |
| **الموليت الملبد** | ١٣٠ |
| **بعض الأكاسيد الملبدة الأخرى** | ١٣١ |
| أ- الثوريا | ١٣١ |
| ب- أكسيد الكالسيوم – جـ- اليوتوريا – د- أكسيد اليورانيوم | ١٣٢ |
| **الكربيدات الحرارية** | ١٣٣ |

## تابع :المحتـويـات

صفحة


أ- كربيد السيليكون –ب–كربيد الزركونيوم –جـ–كربيد البورون ١٣٣

د- كربيد الثوريوم –هـ – كربيد اليورانيوم – و.– الجرافيت ١٣٤

**البوريدات الحرارية** ١٣٥

**النيتريدات الحرارية** ١٣٥

**السيليسيدات الحرارية** ١٣٥

**بعض الأجسام الحرارية الأخرى** ١٣٦

البورسيلان الحرارى ١٣٦

**الجزء الرابع : بعض المنتجات الحرارية الهامة** ١٣٧

**مقدمة** ١٣٧

**أثاث الأفران** ١٣٧

**غرف الحريق** ١٣٨

غرف الحريق المصنعة قطعة واحدة ١٣٨

خصائص غرف الحريق– التركيب ١٣٩

التشكيل – التجفيف ١٤٠

الحريق – الخواص التى يجب أن تتحقق فى غرف الحريق ١٤١

**الأرفف وحوامل الرص** ١٤٢

**علب الحريق** ١٤٤

خصائص العلب الحرارية التى يجب أن تتوافر بها ١٤٥

عيوب العلب الحرارية ١٤٥

الخامات التى تستخدم فى صناعة علب الحريق و أثاث الأفران عامة ١٤٦

١–الطين النارى – ٢– الألومينا –الكوراندم ١٤٦

٣– السيليكا المنصهرة –٤– الموليت و السيليمانيت ١٤٧

٥– كربيد السيليكون –٦– الزركون ١٤٧

**تابع :المحتـويـات**


| | صفحة |
|---|---|
| التشكيل – التجفيف – الطلاء | ١٤٨ |
| البـواتـق | ١٤٩ |
| خواصها | ١٤٩ |
| **أهم المواد و الأكاسيد النقية المستخدمة لعمل البـواتـق** | ١٥١ |
| **أكثر أنواع البـواتـق إستخداما** | ١٥١ |
| **١– بـواتـق الزركونيا – بـواتـق الزركون** | ١٥١ |
| طريقة تشكيل بـواتـق الزركونيا –حريق بـواتـق الزركونيا | ١٥٢ |
| الزركونيا و الزركون كبطانة للبـواتـق الأخرى | ١٥٢ |
| **٢– بـواتـق الطين** | ١٥٢ |
| **٣–بـواتـق الجرافيت** | ١٥٣ |
| **٤– بـواتـق كربيد السيليكون** | ١٥٣ |
| مميزاتها | ١٥٣ |
| **٥– بـواتـق الألومينا** | ١٥٣ |
| خواص بـواتـق الألومينا | ١٥٥ |
| المـراجـع | ١٥٦ |

# الجزء الأول

# المواد الخام الحرارية

# الجزء الأول
# المواد الخام الحرارية

## مقدمة

تأخذ المواد و الأجسام الحرارية مكانا هاما فى أغلب الصناعات حيث التطور و إمكانيه الوصول لدرجات الحرارة العالية ، و كان لزاما لذلك معرفة الإمكانيات الحرارية للخامات التى تستخدم لتتحمل درجات الحرارة المرتفعة و كذلك مقاومتها للمؤثرات المحيطة بها ، إن كان هذا فى صورة مواد متلامسة معها أو الجو المحيط بها من مؤكسد إلى مختزل و غيرها ، وكذلك تحملها للصدمات الحرارية ، و كلما إمتازت المادة بهذه الصفات كلما كان لها المجال الكبير فى الإستخدام فى الحراريات

و توجد تلك المواد التى تستخدم فى مجال صناعة الحراريات إما فى الطبيعة كمواد خام او أن تصنع بظروف و متطلبات خاصة ، وتستخدم فى مجال ( الحراريات الخشنة **Coarse** ) مثل بناء الأفران وأثاثه و المداخن و البواتق .وما شابهها ، كما تستخدم فى مجال الحراريات الخاصة التى تتطلبها بعض الصناعات بصفات معينه مثل تطلب توصيل كهربائى بجانب صفاتها الحرارية ، أو إستخدامها فى أغراض خاصة ، و يتطلب هذا إعداد و طرق تشكيل بظروف معينة للوصول الى المواصفات المطلوبة

و عامة فإن المواد الحرارية تتميز بمقاومتها لفعل الصهر ، و يجب أن تتوافر فيها شروط مقاومة الظروف المحيطه كل حسب إستخدامها حيث مقاومة الماده لفعل الحرارة و الظروف المحيطة بها والتى تتعرض لها

١– مقاومة الماده لفعل الحرارة

من تلك المواد الحرارية التى تتحمل درجات حرارة تصل إلى ١٧٠٠°م هى الطين النارى و بعض الإكاسيد مثل السيليكا و الجير و الماغنيسيا و الألومينا و الزركونيا.. و لكن يرتبط هذا بدرجة نقائها حيث وجود نسب قليلة من الشوائب تؤثر على خواصها الحرارية

٢-مقاومة الماده للظروف المحيطة بها

مثل الجو المحيط أثناء تعرضها للتسخين من مؤكسد أو مختزل أو وجود غازات و أتربه ناتجة من الصناعه التى يستخدم بها ، أو تلامسه مع الخبث ..أو غير ذلك ، وكذلك ظروف الإحتكاك و التآكل و مقاومة الماده للصدمات الحرارية من التسخين والتبريد السريع ، وكذلك مدى تحمل الماده الحرارية للتسخين تحت تأثير ثقل ، و خاصة فى أثاث الأفران من الارفف و علب الحريق ( الكازتات ) و غيرها

كذلك ما يؤثر على الماده الحرارية هو

١ – طبيعة الماده **Nature of Heat**

٢-المعدل الذى ترتفع به الحراره

٣– الزمن الذى تتعرض فيه المادة لتأثير الحرارة

لذا لكى نصف ماده بأنها حرارية يجب أن نذكر الظروف التى يجب أن تستخدم فيها حيث يمكن للماده أن تتحمل التسخين لدرجات حرارة مرتفعة بينما لا تتحمل تلك الدرجه تحت ظروف أخرى مؤثره عليها ( مثلما ذكر فى ظروف الحريق )

لذا يجب أن تتميز بمقاومتها لكل من:

١– درجات الحراره المرتفعة

٢– الضغط المعرض له أثناء التسخين

٣– مقاومة فعل الخبث

٤– مقاومة اللهب المباشر والأتربة

٥– التميز بالتمدد والإنكماش القليل و المنتظم

و تختار المواد الحرارية تبعا للإستخدام الذى سيصنع له المنتج و يمكن تقسيم المواد الحرارية إلى

أ – مواد تقاوم تأثير التسخين فى الهواء لدرجات حرارة عالية

ب– مواد تقاوم التأثيرات الكيمائية الملامسه لها إن كانت لهب مباشر أو غازات أو خبث أوغيرها

– و من الملاحظ من هذا التقسيم أن النوعية الأولى تكون محددة الإستخدام و يراعى فيها عدم تعرضها لظروف النوعية الثانية ، حيث يمكن أن تفقد صفة الحرارية فى وجود أى من تلك

الظروف ، ولكن النوعية الثانية المقاومة للتأثيرات الكيمائية يكون لها المجال الأوسع كل حسب خواصه و مقاومته لما يحيط بها

و لكل ماده حرارية سلوك كيميائى مع المواد الأخرى ، لذا تم تقسيم المواد الحرارية إلى :

١- مواد حامضية - مثل الطينات ( خاصة الطين النارى ) و السيليكا و صورها المختلفه مثل (الفلنت و الكوارتز و الحجر الرملى و الجانستر و غيرها ) .

٢- مواد قاعدية - مثل البوكسيت والجير والماغنيسيا والزركونيا

٣-مواد متعادلة - مثل الكروميت و الجرافيت

- و يمكن إستخدام خليط من تلك المواد تبعا للمواصفات المطلوبه فى الأجسام الحرارية ، ويراعى نوعية و نسب الشوائب الموجودة بالخامات حيث تأثيرها على درجة حرارية الأجسام الناتجه

- و تختار تلك المواد تبعا للظروف التى سوف تستخدم فيها المادة ، مثال إذا أستخدمت ماده حرارية حامضية مثل السيليكا فإنها سوف تتلف بسرعة إذا تعرضت أثناء التسخين لماده قاعدية مثل الجير حيث يتفاعلا معا مكونا مادة أخرى أقل مقاومه للحرارة عن أى من المادتين ( السيليكا أو الجير ) كل على حده ، لذا يراعى عند عمل تركيب لجسم حرارى أن لا يتكون من ماده حامضية و أخرى قاعدية و لكن عند خلط مادة متعادلة مع أى منهما يزيد بعض الخواص الحرارية للجسم الناتج أو مع مادة أخرى من نفس المجموعه إن كانت حامضية أو قاعدية أو متعادلة

و فيما يلى سوف نذكر بعض المواد و خواصها الحرارية

## أولا – المواد الحرارية الحامضية Acidic Refractory Materials

المواد الحرارية الحامضية هى المواد التى تحتوى على نسبة عالية من السيليكا ، و تسمى المنتجات الحرارية المصنعة منها ( الحراريات الحامضية ) تبعا لسلوكها الكيميائى مثل حراريات السيليكا التى تحتوى أكثر من ٩٣٪ سيليكا ، و الحراريات السيليسيه تحتوى من ٧٨-٩٣٪ سيليكا

ويمكن تقسيم المواد الحراريه الحامضيه إلى :

أ – الطينات – ( الكاولين –الطين الصينى – مجموعة السيليمانيت ..)

ب– المواد السيليسية

### الطينات Clays

تحتوى الطينات على نسبه كبيرة من الألومينا و السيليكا و توجد فى أنواع عديدة مختلفة تبعا لتكونها فى الطبيعة

- ويفضل الانواع الرسوبية أو المنقولة و التى منها الطين النارى عن الطينات المتخلفه Residual التى تتكون فى مكان الصخرة الأم ، حيث غالبا ما تحتوى على نسب منها، والتى تكون عباره عن فلسبار و هى مادة صهارة تؤثر على درجة حرارية الطين المتكون
- و تتميز الطينات بدرجة من اللدونه ، و غالبا ما يكون حجم الدقائق بين ٢,-١٠ ميكرون ، و عادة ما تحتوى على واحد أو أكثر من المعادن الطينية و السيليكا الحره
- و توجد منه أنواع مختلفه مثل الطين النارى Fire Clay – طين الدياسبور Diaspore Clay – طين البوكسيت Bauxite Clay – طين الفلنت Flint Clay – الكاولين Kaolin المتخلف أو الرسوبى( Residual & Sedimentary )
- و قد تحتوى الطينات على معادن ثانوية يكون لها تأثير هام على خواصها مثل :( الكوارتز- الفلسبارات – الميكا – معادن الحديد –التيتانيوم – الجير – الماغنيسيا ..و غيرها ) ، و الكوارتز يعمل كمادة حرارية غير لدنة و لكن باقى المعادن الأخرى لها تأثير مادة صهر يؤثر على حرارية الطينات المستخدمه تبعا لنسبة وجودها فى الطين

## الكاولين Kaolin

يتميز الكاولين بدرجة نقاء عالية مع لدونة منخفضة ويختلف تركيبه الكيميائى تبعا للصخور التى تكّون منها ، و يشابه الطين الصينى النقى ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) من ٤٦٪ سيليكا و ٤٠٪ ألومينا و ١٤٪ ماء وينصهر الكاولين النقى عند ١٧٨٥°م و تنخفض هذه الدرجة قليلا عند وجود شوائب

## الطين الصينىChina Clay

كما فى الكاولين فإن الطين الصينى يكون لونه أبيض أو كريم أو رمادى فاتح فى الطبيعة ويكون أبيض بعد الحريق

- يكون بدرجة من اللدونه منخفضة ، و بحجم حبيبى دقيق ، و شكل صفحى للدقائق
- الطين الصينى ليس له درجة إنصهار محدده و الأنواع النقيه منه تنصهر عند ١٧٧٠-١٧٩٠°م
- و بسبب لدونته المنخفضة يقل إستخدامه فى صناعة المنتجات الحرارية ، ولكن يمكن إضافته مع الطينات اللدنه
- كذلك لا يستخدم بمفرده فى بطانه الأفران بسبب قوة تماسكه الضعيفه ، و لا يقاوم تأثير التسخين و التبريد المتكرر لمدة طويله ، ولا يقاوم تأثير الأتربه و غيرها من المواد الموجودة فى جو الفرن

## مجموعة السيليمانيت Sillimanite Group

تضم هذه المجموعه ( سيليكات الألومنيوم )- الأندلوزيت Andalusite - الكيانيت Kyanite - السيليمانيت Sillimanite - الموليت Mullite

- و الأندلوزيت والكيانيت و السيليمانيت بتركيب نظرى واحد ( $Al_2O_3.\ SiO_2$ )بنسبة ٦٣٪ ألومينا و ٣٧٪ سيليكا ، ولكن يختلفوا فى الشكل البلورى و الخواص الفيزيقية الأخرى ، وتتحل بالتسخين إلى الموليت والسيليكا

- أما المولیت تركيبه هو( $3Al_2O_3$ $2SiO_2$ )
- و يتم إعداد هذه المركبات بتسخين نسب من الألومينا و السيليكا إلى درجات حرارة معينة فيتكون واحد أو أكثر من المواد التالية :

١- السيليكا الحرة - التى توجد فى عدة صور تآصليه مثل:الكوارتز - التريديميت - الكريستوباليت - أو زجاج السيليكا

٢- السيليمانيت $Al_2O_3.SiO_2$ وبإستمرار تسخينه يتكون المولیت $3Al_2O_3.2SiO_2$

٣-المولیت - وبإستمرار تسخينه يكون كوراندم و سيليكا

٤- الألومينا - توجد على نفس الصورة المستخدمة أو على هيئة كوراندم

الأندلوزيت

- بلوراته تنتمى للنظام المعين Orthorhombic
- يوجد فى الطبيعة فى الولايات المتحده ، و يصنع منه شمع الإحتراق ( البوجيهات -Spark Plugs )، و هو أفضل فى هذه الحاله من السيليمانيت الصناعى
- و من مميزاته

١- لايتأثر بالحراره حتى ١٣٢٥°م

٢- عندتسخينه إلى ١٣٩٠°م يتحول إلى كيانيت و سيليمانيت ثم إلى مولیت و سيليكا

٣-درجة تمدده وإنكماشه غير ملحوظ فى درجات الحرارة الأقل من ١٥٠٠°م

الكيانيت

- بلوراته ثلاثية الميل Triclinic
- يشبه فى خواصه الأندلوزيت و السيليمانيت و لكنه أفضل منهما صلادة
- لا يتأثر بالحراره حتى ١٠٠٠°م
- و لكن عند ١١٠٠°م يتحول إلى مولیت و سيليكا ببطء أولا ثم يزداد بسرعه مع زيادة درجة الحراره ، يصاحب ذلك زياده كبيره فى الحجم ، لذا يجب كلسنته قبل إستخدامه كمادة

حرارية بتسخينه لأعلى من ١١٠٠°م ( يفضل الى ١٢٥٠°م ) لكـى يتحـول الى سـيليمانيت ثـم موليت

السيليمانيت

- ينتمى بلوراته إلى النظام المعين ( **Orthorombic** )
- ينصهر عند ١٨٥٠°م
- غير لدن ، لذا يضاف نسبه من الطينات قبل التشكيل

- يفضل إستخدامه كمادة حرارية لما يلى :

١- يلين فى درجة حراره مرتفعه و يظل مستقرا إلى هذه الدرجة
٢- يتميز بمعامل تمدد صغير ، لذا يقاوم التغيرات المفاجئة فى درجة الحرارة
٣- يقاوم تأثير الإحتكاك و تأثير الخبث
٤- يستخدم فى الجو المؤكسد أو المختزل بنفس الكفاءة
٥- ذو مقاومة للضغط أثناء التسخين أكثر من المواد الإخرى
٦- جيد التوصيل للحرارة
٧- ضعيف التوصيل للكهرباء فى درجات الحرارة المختلفة

الموليت **Mullite**

الموليت **$3Al_2O_3 . 2SiO_2$**

- نادراً ما يوجد في الطبيعـة ، ولكنـه شائع وجـوده فـى المنتـج الخزفـى ، حيـث تحتـوى أغلـب المنتجات الخزفية على الموليت كأحد مكوناتها الهامة و خاصـة البورسـيلان و منتجـات الطـين النارى و حراريات الألومينا

- يتكون بإحد الطرق الآتية

١- بتسخين الأندلوزيت أو الكيانيت أو السيليمانيت إلى ١٢٠٠°م ، و يمكن أن تصل إلى ١٥٠٠°م

٢- أو بنسب من الطين و الألومينا ، و التسخين إلى أكثر من ١٤٠٠°م

$$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O+2Al_2O_3 \Rightarrow 3Al_2O_3.2SiO_2+2H_2O$$

٣- تسخين الألومينا النقية و السيليكا لأعلى من ١٦٠٠°م

- الموليت النقى ينصهر عند ١٨١٠°م
- يقاوم تأثير القلويات و يتأثر ببطء بالزجاج المنصهر
- مقاوم للتغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة
- لا يستخدم فى نطاق واسع فى صناعة الطوب لإرتفاع تكاليفه

## معادن السيليكا Silica Minerals

### الجانستر Ganister

يطلق على ( الكوارتيزيت ) ، و هو أكثر معادن السيليكا إستخداما فى صناعة الحراريات

- ينصهر الكوارتيزيت عند ١٧٠٠°م و هو مثل الموليت يلين أولا قبل أن ينصهر
- يقاوم تأثير الأحمال فى درجات الحرارة المرتفعة أكثر من الطين النارى
- حساس للتغيرات فى درجة الحرارة حيث التمدد الحرارى الكبير

### الحجر النارى Firestone

- عباره عن صخور سيليسية تحتوى من ٨٠-٩٠٪ سيليكا
- يمكن إستخدامه كبطانة للأفران

## الطينات و المعادن ذات محتوى الألومينا العالى

### الألومينا الممهاه Hydrated Alumina

- تعتبر المواد التى تحتوى ( دياسبور Diaspore - $Al_2O_3.H_2O$ ) من المواد الحرارية الهامة و التى عادة ما توجد مع الكاولينات بنسب مختلفة
- منها يصنع الطوب عالى الألومينا High-Alumina Bricks والذى يحتوى نسبة من ٥٠-٨٠٪ ألومينا

## ثانيا – المواد الحرارية القاعدية Basic Refractory Materials

أغلب المواد الحرارية القاعدية هى التى تحتوى نسبه عالية من الأكاسيد القاعدية من الماغنيسيوم أو الكالسيوم أو كليهما معا

- المواد القاعدية هى:

١- الألومينا ( الدياسبور – الجبسيت – البوكسيت )

٢- خامات الحديد ( هيماتيت – ماجنيتيت )

٣- الجير ( الكالسيا )

٤- الماغنيسيا

٥- الدولوميت ( حجر الجير الماغنيسيومى )

٦- الأكاسيد النادرة ( البريليوم – السيريوم – الثوريوم – التيتانيوم – اليوتريوم – الزركونيا – الزركون )

## الألومينا Alumina

- الألومينا كأكسيد متعادل يأخذ سلوك الأكسيد الحامضى أو الأكسيد القاعدى ، لذا تدخل الألومينا أيضا فى تقسيم المواد الحرارية القاعدية
- توجد فى الطبيعة على أكثر من صورة متبلورة و أهمها ( الدياسبور Diaspore $Al_2O_3.H_2O$ - الجبسيت $Al_2O_3.3H_2O$ Gibbsite - البوكسيت Bauxite $Al_2O_3.xH_2O$ )
- الألومينا النقية المكلسة عند ١١٠٠°م تنصهر بين ٢٠٠٠-٢٠٥٠°م تبعا لدرجة النقاء
- يمكن إستخدامها فى المنتجات الحرارية التى تتحمل إلى ١٩٥٠°م

## الدياسبور Diaspore

- ( $Al_2O_3.H_2O$ )
- ذو بلورات معينة منشورية Orthorhombic Prismatic
- يفضل إستخدامه كمادة حرارية عن البوكسيت حيث إنكماشه إقل منه و ذلك للمحتوى المائى الأقل عنه

## الجبسيت Gibbsite

- ( $Al_2O_3.3H_2O$ )
- بلوراته أحادية الميل Monoclinic
- يحتوى الجبسيت على بعض الشوائب من ١-٥٪ سيليكا ، ١-٤٪ أكسيد تيتانيوم ، كما تصل نسبة السيليكا فى بعض العينات إلى ١٦٪
- ينصهر الجبسيت النقى عند ٢٠٣٥°م
- ينكمش بالتسخين و الذى يعادل إنكماش الطينات عاليه اللدونة

## البوكسيت Bauxite

- ( $Al_2O_3.xH_2O$ )
- يختلف تركيبه حسب مصدره
- تختلف فيه نسبة الماء المرتبط
- يقسم تجاريا تبعا لنسب الشوائب التى يحتويها و منه :

أ – البوكسيت الأحمر – الذى يحتوى على نسبه من أكسيد الحديد ، و تحضر منه بعض المنتجات الصغيرة مثل البواتق الصغيرة التى تستخدم فى بعض الأغراض الخاصة

ب– البوكسيت الأبيض أو الرمادى – يحتوى نسبه عالية من السيليكا و الماء ، و يعتبر مادة حرارية ممتازة

جـ– البوكسيت الأزرق – يرجع اللون الأزرق إلى إحتوائه على كبريتيد الحديدوز الأحادى

- أفضل الأنواع كمادة حرارية ما يحتوى على نسبه أكبر من الألومينا و نسبه أقل من السيليكا و الشوائب الأخرى مثل أكسيد الحديد أو ثانى أكسيد التيتانيوم وغيره من الأكاسيد المصهره
- إذا زادت نسبة شوائب الحديد عن ١٠٪ و التيتانيوم عن ٥٪ فإن تلك النوعية لا تلائم مجال الصناعات الحرارية
- لا يحتاج البوكسيت إلى عملية كلسنة فى درجات حراره عالية قبل إستخدامه ، حيث يفقد جزيئات الماء المتحد عند أقل من درجة ٦٠٠°م
- ولكن عملية الكلسنة هامة للبوكسيت الخام ، حيث ينكمش بصورة كبيرة نتيجة للبلمره و تكثيف الجزيئات واتحادها
- لإستخدامه فى صناعة الطوب الحرارى يخلط مع ربع وزنه من الطين ، و يطحن و يضاف إليه قليل من الماء و يشكل و يحرق
- يستخدم فى مجال الحراريات ليحل محل الجروج و زيادة حرارية الطين النارى
- لا يستخدم البوكسيت بمفرده فى إنتاج الحراريات حيث يفتقر إلى اللدونه ، لذا يضاف إليه نسبة من الطين مما يقلل من إنكماش الطين و يزيد درجة حراريته
- بتسخين البوكسيت عند ١٤٠٠°م لمده أكبر يجعله صلد جداً

## خامات الحديد Iron Ores

- تستخدم بعض خامات الحديد مثل الهيماتيت ($Fe_2O_3$) و الماجنيتيت ($Fe_3O_4$) كبطانه للأفران
- تستخدم كبطانة واقية لأفران الحديد المطاوع
- خامات الحديد ذات مقاومه أقل من الطينات و الألومينا

## الجير Lime (CaO)

- يعتبر الجير أكثر الأكاسيد التى تستخدم كمادة حرارية بعد الماجنيزيت
- ينصهر الجير فى درجة ١٩٩٠م فى الضغط الجوى العادى
- بالرغم من مقاومة الجير الكبيرة لتأثير الحرارة فإنه لا يستخدم بمفرده فى إنتاج الطوب النارى، حيث تعرضه للجو بعد تسخينه يتأثر كثيرا بالرطوبه ليتحول إلى جير مطفأ على هيئة مسحوق
- يستخدم كبطانة فى بعض الأفران ، و فى صناعة البواتق الصغيرة التى تستخدم لصهر البلاتين

## الماغنيسيا Magnisia (MgO)

- يتم الحصول عليها بكلسنة الماجنيزيت
- تنصهر فى درجة حراره ٢٨٠٠م ، و لكن توجد بعض الأنواع التى تحتوى على سيليكا و بعض الشوائب و تنصهر فى درجة حرارة أقل من ذلك
- بسبب عدم التأثير السريع للماغنيسيا على السيليكا فإنها تستخدم فى الأفران التى تتطلب جزء حراريات قاعدية مع الحراريات الحامضية
- الماغنيسيا النقية لا تلائم صناعة الطوب الحرارى ، لذا يضاف اليها نسبة من ٦-٨٪ من أكسيد الحديد و الألومينا و السيليكا لخفض درجة الحرارة التى يحدث عندها التزجج

## الدولوميت Dolomite (Ca,Mg)CO3

- أكثر تحملا للحراره من الجير
- درجة إنصهاره غير محددة ، تختلف بإختلاف التركيب ، حيث الدولوميت التام النقاء ينصهر عند حوالى ٢٥٠٠-٢٨٠٠°م ، بينما أنواع أخرى تنصهر عند ١٥٠٠°م مع التشوه التام عند ١٩٠٠°م
- يجب أن يسخن لدرجة مرتفعة مع تثبيت الحرارة لمدة طويلة لكى لا يحدث إنكماش كبير إثناء الإستخدام
- يجب أن يتم الحرق الجيد و ملافاة عيوب الإماهه للجير الذى يحتويه

## الأكاسيد الحرارية

- تستخدم فى بواتق التجارب والتى تستخدم فى درجات الحرارة المرتفعة جداً
- أهم تلك الأكاسيد

١- أكسيد البريليوم **Beryllium Oxide** ٢- أكسيد السيريوم **Cerium Oxide**

٣- ثانى أكسيد الثوريوم **Thorium Dioxide** ٤- أكسيد التيتانيوم **Titanium Oxide**

٥-أكسيد اليوتيريوم **Yttrium Oxide** ٦- أكسيد الزركونيوم **Zirconium Ox.**

## ١- أكسيد البريليوم (BeO)

- درجة إنصهاره عالية ٢٤٥٠°م
- يذوب فى الماء
- ذو توصيل حرارى ممتاز
- يقاوم الصدمات الحرارية و العوامل المختزلة
- يقاوم تأثير الأحماض أكثر من الماغنيسيا
- يستخدم بمفرده كمادة حرارية ممتازه و لكنه غالى الثمن

- يصنع منه بواتق خاصة لأفران التجارب الكهربائية
- يستخدم لأغلفة (الإزدواج الحرارى Thermo-couple )

## ٢-أكسيد السيريوم ($CeO_2$)

- درجة إنصهاره ١٩٥٠°م
- ماده حراريه مستقره
- يقاوم تأثير الأحماض و القلويات لدرجة كبيرة إلا فى وجود عامل مختزل

## ٣- ثانى أكسيد الثوريوم ($ThO_2$)

- درجة إنصهاره ٢٤٧٠°م
- يقاوم تأثير الخبث القاعدى
- حساس للصدمة الحرارية
- يستخدم فى صناعة بواتق التجارب

## ٤-أكسيد التيتانيوم ($TiO_2$)

- ينصهر أكسيد التيتانيوم النقى عند ١٨٥٠°م
- يوجد على أشكال متنوعة فى الطبيعة ( حوالى ٣٦ معدن ) منها البروكيت Brookite والروتيل Rutile و الأناتاس Anatase
- يتحول البروكيت و الأناتاس بالتسخين عند ٩٠٠°م إلى الروتيل المستقر فى درجات الحراره العاليه
- يستخدم الأكسيد كمادة حرارية ملونة

## ٥- أكسيد اليوتيريوم ($Y_2O_3$)

- ينصهر عند ٢٤٠٠ °م
- يستخدم إلى حد ما فى صناعة بعض المصابيح ، و تصنع شعيرات تلك المصابيح بخليط من اليوتريا و الثوريا و الزركونيا ، و الذى يحمص إلى ٢٠٠٠ °م ، ويكون الجسم الناتج موصل جيد للكهرباء

## ٦- أكسيد الزركونيوم ($ZrO_2$)

- درجة إنصهاره عند ٢٧٥٠ °م ، ولكن عند وجود شوائب به تقل درجة الإنصهار لتكون بين ١٧٠٠-٢٧٥٠ °م
- معامل التوصيل الحرارى والكهربى منخفض
- إنكماش الزركونيا كبير جداً عند رفع درجة الحرارة مما يسبب فى تشقق الأجسام المصنعة منها ، و فى التبريد يتحول النظام البلورى الرباعى **Tetragonal** إلى النظام الثلاثى **Trigonal** مما يزيد التشقق ، و لملافاة ذلك يضاف من ٢-٤٪ ماغنيسيا إلى الزركونيا قبل التسخين
- الزركونيا النقية هى أفضل العوازل الكهربائية عند ٢٠٠٠ °م ، و فى وجود الشوائب يقلل قيمتها كعازل كهربائى
- مقاومة للصدمات الحرارية ، و التأثيرات الميكانيكية فى درجات الحرارة العالية
- الزركونيا حساسة للغازات المختزلة بين ٥٠٠ – ١٦٠٠ °م ، لذا يجب أن تستخدم في جو مؤكسد فقط
- يمكن تبطين الأفران بالزركونيا التى تتحمل إلى ٢٠٠٠ °م
- تعتبر الزركونيا أكسيد مترددد مثل الألومينا
- الزركونيا حساسه لوجود الشوائب بها ، حيث أن نسبة من الطين حوالى ٣٪ تعمل على خفض درجة الإنصهار إلى ٢١٠٠ °م ، و معظم المواد الرابطه لها تأثير مشابه
- عند تسخين الزركونيا مع السيليكا يتكون الزركون ( سيليكات الزركونيوم ) درجة إنصهاره ٢٥٦٠ °م

## ثالثا – المواد الحرارية المتعادلة Neutral Refractory Materials

المواد الحرارية المتعادلة هى مواد متعادلة كيمائيا فى درجات الحرارة العالية ، لذا لا تتفاعل مع الحراريات الحامضية أو القاعدية

– أهم تلك المواد ما يلى :

١– الكربون ( الكربون – الجرافيت – الكوك – الإنتراسيت – الفحم )

٢– الكربيدات (كربوراندم – كربيد الزركونيوم – كربيد التيتانيوم – كربيد البورون )

٣– النيتريدات ( نتريد البورون – التنجستن – الموليبدنم )

٤– الكروميت

## الكربون Carbons

أ – الكربون Carbon – عنصر مستقر إلى درجة ٥٠٠°م فى عدم وجود الهواء ، و أعلى من هذه الدرجة يتحول ببطء جداً إلى الجرافيت ، أو يتحول بسرعه فى وجود عامل حافز مثل (السيليكا أو الحديد أو الجير أو البوريك ) ، و عندما يحرق فى وجود الهواء يحترق و يتحول إلى غاز أول أكسيد الكربون أو ثانى أكسيد الكربون تبعا لظروف الإحتراق

– ويستخدم الكربون فى صناعة المنتجات الحرارية على صورة جرافيت عادة ، و يمكن إستخدام الفحم والكوك والقار أيضا فى صناعة المنتجات الحرارية

– ووجود الكربون فى المنتج الحرارى يجعله يقاوم التغيرات المفاجئة فى درجة الحرارة

ب– الجرافيت Graphite – مستقر فى جميع درجات الحرارة فى عدم وجود الهواء ، و لكن عندما يوجد الأكسجين يتحد معه فى درجات حرارة تزيد عن ٧٠٠°م

– يميل لونه إلى الأسود المائل للرمادى

– له بريق يشبه البريق الفلزى

– بصلاده ١ من مقياس Moh

- ذو معامل تمدد صغير جداً
- يحترق ببطء عند تسخينه لدرجات حرارة مرتفعة فى الهواء مخلفا رماد يحتوى على معظم الشوائب
- لا يذوب فى كل الأحماض
- يفتقد اللدونه لذا يخلط مع الطين فى صناعة البواتق والتى تؤدى إلى :

زيادة مقاومتها للصدمات الحرارية.، و زيادة درجة التوصيل الحرارى للبواتق مما يساعد على سرعة صهر الفلزات ، كذلك يجعل الجو داخل البوتقه مختزلا ، و تكون البوتقه ملساء مما يمنع من إلتصاق ما تحتويه من مواد بها

- يمكن الحصول على الجرافيت الصناعى بعدة طرق مختلفة منها:

١- تسخين الإنتراسيت فى فرن كهربائى

٢- كناتج جانبى عند تحضير الكربوراندم

- الجرافيت النقى يتكون من سلسله من طبقات ذرات الكربون ، والقوى التى تربط الذرات فى كل طبقة اكبر من القوى التى تربط الطبقات مما يحدد مستوى (الأنشقاق **Cleavage** ) و يوضح إختلاف درجة توصيل الكهرباء فى الإتجاهات المختلفه
- و ترجع ليونه الجرافيت إلى تركيبه فى طبقات ، و إرتفاع درجة حراره إنصهاره إلى المدى الكبير الذى يربط بين ذرات كل طبقه
- من المعتقد إن الجرافيت غير قابل للإنصهار ، و لكن بعض الأبحاث أثبتت أنه يمكن تبخره فى بوتقه من كربيد التنتاليوم الذى درجة إنصهاره ٣٨٧٧°م

جـ- الكوك **Coke** – يستخدم مسحوق الكوك كبديل للجرافيت فى صناعة البواتق بالرغم من إحتوائه على كمية أكبر من الرماد

د – الأنتراسيت **Anthracite** – يستخدم كمادة حرارية أو عازلة فى الأفران الكهربائية ، ولكن يجب تسخينه قبل الإستخدام لطرد المواد الطيارة منها

هـ- الفحم **Coal** - لا يمكن إستخدامه كبديل للجرافيت أو الكوك لأنه يحترق بسرعه أكبر منهما ، لذا لا يوصى بإستخدامه

## الكربيدات **Carbides**

تستخدم كربيدات بعض الفلزات كمواد حرارية فى درجات الحرارة المرتفعة جداً مع توفير الجو المختزل ، و لا يصنع منه الطوب نظرا لتكاليفه المرتفعة و لكن يستخدم كبطانه ليعطى نتائج ممتازه

إ - الكربورانـدم **Carborundum (SiC)** - أحد أنواع الكربيدات ، و هو كربيد السيليكون ، والذى يمكن الحصول عليه من الإنصهار الجزئى لخليط من السيليكا و الكربون فى غياب الهواء ، ثم التبريد ببطء حتى تتبلر الماده ، و من خواصه ما يلى :

١ - ذو بلورات سداسيه ، تختلف فى اللون من الأصفر الباهت إلى الرمادى أو الأسود المزرق تبعا للشوائب التى يحتويها ، و تأثير الضوء على سطح البلورات

٢- شديد الصلاده ، تقترب صلادته من الماس

٣- درجة إنصهاره ٢٥٠٠°م

٤- يتحمل درجات الحرارة المرتفعة أكثر من جميع أنواع الطوب الحرارى

٥- ينحل ببطء فى درجات الحرارة المرتفعة دون أن ينصهر ( فى حوالى ٢٢٥٠°م ) حيث يتطاير السيليكون و يحترق الجرافيت

٦- يتميز عن معظم المواد الأخرى بتوصيله الجيد للحراره و معامل تمدده الصغير و متانته

ب- كربيد الزركونيوم **Zirconium Carbide (ZrC)**

- يحضر بتسخين الزركونيا مع الكربون عند درجة (١٧٠٠-٢٠٠٠)°م
- يقاوم تأثير الحراره إلى حد كبير
- ينحل ببطء بتأثير العوامل المؤكسدة

جـ- كربيد التيتانيوم **Titanium Carbide (TiC)**

- يحضر بتسخين أكسيد التيتانيوم مع الكربون عند درجة (١٧٠٠-٢٠٠٠)°م
- يحترق ببطء فى وجود الأكسجين

د - كربيد البورون **Boron Carbide (B4C)**

- يتم الحصول عليه بالإتحاد المباشر بين البورن ( حامض البوريك ) و الكربون فى فرن كهربائى
- درجة إنصهاره ٢٣٥٠°م
- لا ينحل و لا يتطاير فى درجات حراره أقل من ٢٨٠٠°م
- يتأثر بالأكسجين و الكلور فى درجة أعلى من ١٠٠٠°م

## النتريدات **Nitrides**

- تشبه فى خواصها الكربيدات و لكنها أكثر مقاومة لتأثير الأحماض و القلويات
- أهمها نتريد البورون ، و نتريد التنجستن ، و نتريد الموليبدنم

- نتريد البورون **Boron Nitride**

يحضر بتسخين البورون فى جو من النتروجين إلى درجة ١٢٥٠°م ، كما يحضر بتسخين أكسيد البوريك فى جو من النشادر الجاف تحت ضغط مرتفع عند درجة ١٢٠٠°م حيث تنحل الأمونيا و يتحد النتروجين مع البورون

- لونه أبيض غير متبلر ، لين يشبه الطلق
- يمكن ان يضغط رطبا أو جافا
- يستخدم كمادة عازلة فى درجات الحرارة المرتفعة
- لا يستخدم فى جو مؤكسد أو فى وجود بخار

## الكروميت Chromite

الكروميت أو خام الكروم حديد ، يوجد فى الصخور النارية القاعدية و الطينات المتخلفة Residual

- يتكون الكروميت النقى من ٦٨٪ أكسيد كروم و ٣٢٪أكسيد حديدوز ، و تختلف تلك النسبه فى الأنواع غير النقية
- يجب ألا تستخدم الخامات القليله فى نسبة أكسيد الكروم فى المجال الحرارى
- من الشوائب التى تتواجد مع الكروميت هى السيليكا الحره ، و يجب ألا تزيد نسبتها عن ٨٪ فى الخام المستخدم فى صناعة طوب الكروميت ، حيث نسبه صغيرة من السيليكا تقلل بشكل واضح من مقاومته لتأثير الحرارة
- الكروميت متعادل كيميائى ، و هذا ما يزيد من قيمته فى المجال الحرارى
- مقاوم لفعل الخبث و السيليكا و الماغنيسيا
- تنصهر أنقى أنواعه عند ٢١٨٠°م ، و الأنواع التجاريه منه بين ١٧٠٠–١٨٠٠°م
- الأنواع التى تقل مقاومتها للحراره عند ١٧٧٠°م لا يجب إستخدامها فى المجال الحرارى

## العناصر الحرارية Refractory Elements

من العناصر الحرارية ( البورون – الحديد الزهر – الموليبدنم –النيكل )

### أ – البورون Boron

- عنصر لا فلزى أسود اللون
- صلد ، غير متبلور ، ذو مكسر محارى
- درجة إنصهاره ٢٢٠٠°م
- ضعيف التوصيل للكهرباء ، وتزيد تلك الخاصيه بإرتفاع درجة الحرارة
- عامل مختزل قوى حيث يختزل الكثير من الأكاسيد الفلزيه و الأملاح

ب- الحديد الزهر Cast Iron

- تصنع منه البواتق لإستخدامها فى الصناعات الكيمائية
- يقاوم تأثير الحرارة المرتفعة لمدة قصيرة

حـ- الموليبدنم Molybdenum

- عنصر فلزى حرارى
- درجة إنصهاره حوالى ٢٥٥٠°م
- يستخدم فى صناعة اللمبات الكهربائية

د - النيكل Nickel

- عنصر فلزى ، درجة إنصهاره ١٤٢٠°م
- يتحمل درجة ١٤٠٠°م لمده طويلة
- تصنع منه بواتق صغيرة للمعامل

# الجزء الثانى

# الأجسام الحرارية

# الجزء الثانى
# الأجسام الحرارية

تنقسم الاجسام الحرارية تبعا لنسبة الماده الخام المستخدمه أو الصنف الزجاجي أو البلورى المتكون ، وكذلك سلوك التفاعل للجسم الحرارى ، و منها:

| حراريات حامضية | حراريات قاعدية | حراريات متعادلة |
| --- | --- | --- |
| ١- طوب السيليكا النارى | ١- طوب الماغنيسيا | ١- طوب الكربون |
| ٢- طوب التريديميت | ٢- طوب الدولوميت | ٢- طوب الكروميت |
| ٣- طوب الدياتوميت | ٣- طوب الزركونيا | ٣- طوب كربيد السيليكون |
| ٤- طوب نصف سيليسى | ٤- طوب الزركون | |
| ٥- طوب السيليكات | | |

## أولا: الحراريات الحامضية Acidic Refractory

### ١- طوب السيليكا النارى Silicon Firebrick

يتكون طوب السيليكا النارى من مكونين أساسيين هما السيليكا و المواد الرابطه ، وتصل نسبة السيليكا فى التركيب الى حوالى ٩٠٪ و يتحمل الى حوالى ١٧٥٠°م ، و تضاف على هيئة (صخور السيليكا - كوارتيزيت - حجر رملى - جانستر )

- و لا تستخدم السيليكا فى دقائق ناعمه جدا بل تكون خشنه نوعا ، حيث الدقائق الناعمة تكون اكثر حساسية للتغير فى درجة الحرارة ، كذلك تستخدم السيليكا التى تحتوى على بعض الشوائب غير الضاره فى حدود حوالى ٣٪ وتكون نسبة الحديد ١-١,٥٪

- يستخدم الجير أو الطينات كمادة رابطة لدقائق السيليكا غير اللدنة
- و تضاف المـاده الرابطة الى مسحوق السيليكا و تحرق لدرجة تكفى لاتحادهما و تكوين سيليكات منصهرة ، معتمد ذلك على:

١- درجة نقاء المواد

٢- حجم الدقائق

٣- صغر معامل التمدد الحجمى عند التسخين

- و يستخدم طوب السيليكا على هيئة جروج فى التركيب حيث يقل نشاط تكوين التريديميت فى الحريق مرة اخرى ، و كذلك يكون ذو مقاومة للخبث **Slags**

و من أهم إستخدامات طوب السيليكا النارى

- بطانة الأفران و خاصة فى العقود **Arches** و الأجزاء العليا من الأفران
- الأجزاء التى تتعرض لدرجات حراره أكثر ارتفاعا فى أفران الغاز و الأفران العاكسه و أفران الكوك

أهم أنواع طوب السيليكا النارى

أ - طوب السيليكا **Silica Bricks** - يتكون من الصخور السيليسيه مع الجير كماده رابطه

ب- طوب الجانستر **Ganister Bricks** - غالبا ما يحتوى ( الجانستر ) على كمية كافية من الطين تكون بذاتها ماده رابطه ، أو أن تضاف نسبه قليله من الطين إلى الجانستر

جـ- الطوب الرملى **Sand Bricks** - يتكون من الرمل و الجير كماده رابطة

د- طوب الفلنت **Flint Bricks** - يجب إستخدام الفلنت المكلس للتغلب على الإنكماش الكبير للفلنت الخام عند التسخين

هـ- طوب السيليكا المسامى **Porous Silica Bricks** - يتكون أساسا من الدياتوميت

المواد الرابطه **Bonds**

من أهم المواد التى تستخدم فى صناعة طوب السيليكا كماده رابطة هى الجير و الطين ، وكذلك مركبات أخرى سوف نذكر بعض منها فيما يلى :

أ – الجير **Lime**

– يستخدم عادة على صورة جير مطفأ ، الذى يضاف اليه الماء لتكوين لبن الجير ، و بنسبة حوالى ٢٪من التركيب أو ١–١,٥٪ من الجير الناعم جداً

– وترتبط خواص الطوب بنسبة الجير المضاف حيث :

– أقل من ١٪ من الجير تكون مقاومة الطوب للتأثيرات الميكانيكيةّ أقل من المعدل و يكون سهل التفتت

– تقل مقاومة الطوب لفعل الإحتكاك إذا زادت النسبه إلى ٣٪

– كما تقل مقاومة الطوب للتأثيرات الميكانيكية و درجة الحرارية إذا زادت النسبه إلى ٧٪ لذا يراعى الدقه فى النسبه المضافةً من الجير تبعا للإستخدام المطلوب

ب– الطين **Clay**

– يحتوى الجانستر كمادة طبيعية على نسبه من الطين تصل الى ١٠٪ وتكون بذاتها ماده رابطةّ ، أما الجانستر الصناعى فهو ما يضاف إليه نسبه من الطين النارى و تكون فى حدود ٣٪

– و يفضل إستخدام نسبه الطين المضاف على هيئة مستحلب ، و ذلك بإضافة الماء مع نسبة من سيليكات الصوديوم و اضافته الى نسبة السيليكا ، و ذلك للعمل على التوزيع الجيد لدقائق الطين فى التركيب عن استخدامه فى الصورة الجافة

جـ– مركبات الصودا **Soda Compounds**

تستخدم مركبات الصودا كمادة رابطة لطوب السيليكا بنسبة حوالى ٢٪من التركيب ، ولكنه يكون اقل فى درجة تحمله للحرارة العالية عن الطوب المحتوى جير أو عن استخدام خليط من الصودا مع الجير لهذا الغرض

د – كبريتات الألومنيوم **Aluminium Sulphat**

تضاف على هيئة محلول حيث قابليته للذوبان فى الماء ، و يخلط محلول الكبريتات الساخن مع السيليكا فى خلاط ، كما تضاف سيليكات الماغنيسيوم قبل إضافة كبريتات الألومنيوم عندما يتطلب طوب عالى الصلادة

هـ– كلوريد الكالسيوم **Calcium Chloride**

– يستخدم كلوريد الكالسيوم كمادة رابطة بمفرده أو مع وجود سيليكات الصوديوم

– و بسبب إمتصاص كلوريد الكالسيوم للرطوبه بدرجة كبيرة فإنه يكون من الصعب تجفيف الطوب ، لذا يراعى التجفيف الجيد و الذى يليه الحريق مباشرة قبل إمتصاص الطوب للرطوبه من الجو المحيط

– و أثناء الحريق ينحل كلوريد الكالسيوم مكونا الجير و يكون أفضل فى إستخدامه عن الجير لإنتشاره الجيد فى التركيب حيث أنه مادة قابلة للذوبان فى الماء

– و لكن من عيوب إستخدام الكلوريدات هو إنتقالها إلى سطح الطوب، و كذلك تكّون حامض الإيدروكلوريك فى جو الفرن

و– مركبات الماغنيسيوم **Magnisium Compounds**

( الماغنيسيا– كلوريد الماغنيسيوم – سيليكات الماغنيسيوم )

– تشبه مركبات الماغنيسيوم كلوريد الكالسيوم عند إضافتها كمادة رابطة ، و لكن الماغنيسيا تكون أكثر لزوجه ، لذا يكون الطوب أكثر متانه

– و من خواص مركبات الماغنيسيوم انها عندما تسخن مع السيليكا أو الطين تكون السيليكات أو ألومينو سيليكات ذات لزوجة عالية ، مما يجعل طوب السيليكا المحتوى ماغنيسيا كماده رابطه لا ينهار بسرعة تحت حمل فى درجات الحرارة العالية كما فى طوب سيليكات الجير أو سيليكات القلويات

### ٢- طوب التريديميت Tridymite Bricks

مايعرف بطوب التريديميت يتكون أساسا من الكوارتيزيت مع نسبة قليلة جداً من التريديميت ، و يجهز التريديميت صناعيا بكلسنة الكوارتيزيت لإستخدامه فى هذا الغرض حيث لا يكون بصوره كافية فى الطبيعة

### ٣- طوب الدياتوميت Diatomite Bricks

الدياتوميت نوع من السيليكا التى تتكون من بقايا نباتات دقيقه تعرف بالدياتوماتDiatoms

- و عندما يكون غير نقى يؤثر على درجة حراريته
- يستخدم فى صناعة الطوب العازل - Insulating Bricks
- لا يصلح للطوب الحرارى المستخدم لدرجات الحرارة العالية حيث تحوله الى الكريستوباليت وحدوث تمدد طفيف ، و مع اعادة التسخين يكون التمدد ملحوظا

### ٤- طوب نصف سيليسى Semi-silicon Bricks

يتكون من خليط من السيليكا مع بعض المواد الأخرى مثال :

أ - ( ٣٠-٧٠٪ سيليكا + ٣٥-٦٥٪ ماغنيسيا ) ، يتم صهر الخليط لإستخدامه فى صناعة الطوب

ب- ( ٥٠٪ جانستر + ٥٠٪ كربوراندم )

جـ- (٦٠٪ سيليكا + ٣٠٪ الومينا + ١٠٪ اكسيد حديد )

### ٥-طوب السيليكات Silicate Bricks

بسبب مقاومة السيليكات لتأثير الحراره بدرجة كبيرة فإن الطوب المصنوع من السيليكات المحضره صناعيا تكون اكثر مقاومه من الطوب المصنوع من الطين النارى او السيليكاومن أهم السيليكات المستخدمه هى:

أ – الأوليفين Olivine -( $MgO.FeO.Sio_2$ )

ب– التلك Talc -( $2MgO.SiO_2$ )

جـ– السربنتين Serpentine ( $3MgO.2SiO_2.2H_2O$ )

## ثانيا: الحراريات القاعدية Basic Refractories

تتكون الحراريات القاعدية من أكاسيد فلزيه مثل :

( الماغنيسيا MgO - الكالسيا CaO - الباريا BaO - السترونشيا SrO ) ، أو من خليط من تلك الأكاسيد

و الأكاسيد النقية غير ملائمه لصناعة الحراريات القاعدية حيث تكون اكثر حراريه ، لذا تضاف نسب صغيره من أكسيد الحديد أو السيليكا أو الطين

### ١–طوب الماغنيسيا Magnisia Bricks

إستخداماته

أ – فى صناعة الحديد والصلب و الأفران العاكسه التى تعمل فى درجات الحراره العالية لمقاومته لتأثير الأكاسيد الفلزيه و الخبث ، و يستخدم كبطانه لقاعدة و جوانب الأفران الى الإرتفاع الذى يصل اليه الخبث

ب– فى أفران تنقيةالذهب و الفضه و البلاتين

جـ– فى أفران صهر خامات الرصاص و الأنتيمون و النحاس

د – تستخدم الماغنيسيا لتغطية طوب الطين النارى

### طريقة صناعته

الخامات المستخدمة

الماغنيسيا – يجب أن تسخن أولا إلى درجة حرارة عالية و لمدة كافية بحيث نلافى إنكماش و تغير الكثافه فى الطوب المصنوع منها

المواد الرابطه – يستخدم احد المواد التالية ( الطين – سيليكات الصوديوم – الجير– الفلسبار– كلوريد الماغنيسيوم )

– تسحق الماغنيسيا المكلسة و الماده الرابطة كل بمفرده
– تفصل شوائب الحديد بواسطة المغناطيس
– تخلط النسب المستخدمه من الماغنيسيا المكلسه والماده الرابطه ، مع إضافة ٤–٧٪ ماء تبعا لحجم الدقائق المستخدمه
– يشكل الخليط الرطب بطريقة الضغط بمكابس هيدروليكيه تحت ضغط ٣٥٠ كجم/سم٢
– يجفف فى حظائر بدون الإستعانه بالحرارة ( وتستخدم أنابيب البخار فى الشتاء ) ، و مرحلة التجفيف هامة فى طوب الماغنيسيا حيث يحدث التشقق فى هذه المرحلة ، لذا يراعى الإهتمام بها ، و يستغرق التجفيف إلى اكثر من ثلاثة أسابيع ، و يمكن خفض هذه المدة إلى أقل من أسبوع عند التحكم بإستخدام مجفف مغلق و تنظيم الحرارة و درجة الرطوبة
– الحريق – يراعى ما يلى فى مرحلة الحريق :
– الإهتمام بعملية نقل الطوب إلى مرحلة الحريق حيث المقاومة الميكانيكية الضعيفة
– رص الطوب بحيث يكون بينه فراغات ، حوالى ٢ سم بين كل طوبة و أخرى ، لتكون كافيه لمرور الغازات الساخنة
– عدم تعرض الطوب للهب المباشر ، لذا يحاط بطوب سيليكا
– يفضل استخدام الفرن النفقى
– اقصى درجه ١٥١٠°م

خواص طوب الماغنيسيا

– اللون رمادى أو بنى غامق عند وجود الحديد
– خواص قاعدية و مقاومة كبيرة لتأثير الحرارة
– مقاومة ضعيفة للتشظى عند التعرض لتغير فى درجات الحرارة، و يمكن زيادة مقاومته للتشظى بإضافة ٢–٤٪ ألومينا
– لا يتحمل أحمال فى درجات الحرارة المرتفعة

- تمدده بالحرارة كبير نسبيا و يقل بارتفاع درجة الحرارة
- يحتوى طوب الماغنيسيا على الماغنيسيا غير المتبلورة و الماغنيسيا المتبلوره ، حيث تتكون الماغنيسيا غير المتبلورة أولا ثم تتحول الى الصورة المتبلورة عندما ترتفع درجة الحرارة عن ١٢٠٠°م
- الصلاده ٤–٥ من مقياس مو **Moh**
- يجب ان تكون المسامية منخفضة لطوب الماغنيسيا المعرض للخبث

## ٢– طوب الدولوميت **Dolomite Bricks**

يشبه فى كثير من الخواص طوب الماغنيسيا ، و لكن يفضل عليه طوب الماغنيسيا لتميزه ببعض الخواص الملائمة حيث أنه أقل فى درجة المسامية عن طوب الدولوميت ، و كذلك أفضل فى تبطين الإفران المعرضه للخبث

استخداماته

يستخدم فى نفس الأغراض التى يستخدم فيها طوب الماغنيسيا و لكنه اقل متانه عنه

الخامات المستخدمه

- يستخدم الماده الخام المعروفه بالدولوميت و هو حجر الجير الماغنيسيومى
- يستخدم ماده رابطة مثل الجير الحى أو كلوريد الماغنيسيوم أو القار و غيرها
- يتم خلط جيد للخام مع المادة الرابطة
- يتم تعتيق للمادة المكلسة الرطبة
- يشكل بإحد الطرق الآتية:
  - بالضغط اليدوى فى قوالب من الحديد
  - بالضغط الميكانيكى و إستخدام ضغط يصل الى ١٠,٠٠٠رطل /بوصه٢
  - بصب الدولوميت المنصهر فى قوالب
- يخزن بضعة ايام حتى يتصلد
- يحرق فى درجة حراره ١٦٧٠°م أو أعلى فى أفران نفقية
- يجب أن يتم التبريد ببطء

- عند إستخدام القار كمادة رابطة يحتاج لحوالى يومين للتبريد
- عند استخدام المواد الرابطة الأخرى يحتاج التبريد لحوالى أسبوع
- لكى لا يتلف الطوب عند التخزين إما أن يغمس فى قار ساخن أو شمع منصهر أو أن يضاف سيليكات الى الدولوميت فى التركيب قبل تشكيله مثل إضافة الفلسبار

خواص طوب الدولوميت

أ – يشبه فى خواصه طوب الماغنيسيا إلا أنه أقل منه متانة و أكثر مسامية و إنكماشا ( حيث ينكمش من ٢٤–٥٠٪ من حجمه )

ب– طوب الدولوميت أكثر مقاومة لفعل الخبث و التشظى عن طوب الماغنيسيا

جـ– أفضل أنواع طوب الدولوميت

( طوب الدولوميت – كروميت ) و ( طوب الدولوميت – الومينا )

و فى كلتا الحالتين يتحد أكسيد الكالسيوم مع الكروميت أو الألومينا و بخواص حرارية ممتازة

٣ـ طوب الزركونيا **Zirconia Bricks**

إستخداماته

أ – تعتبر الزركونيا إحد المواد الحرارية الممتازة

ب– يستخدم لنفس أغراض طوب الماغنيسيا لكنه يتميز عنه بتحمله لدرجات الحراره الأعلى ، كما أنه أكثر مقاومة للصدمات الحرارية

جـ– يناسب أسقف الأفران وكذلك بطانات الأفران الكهربية

د – يقاوم تأثير السيليكا والزجاج ، و لكنه لا يقاوم تأثير الخبث القاعدى

هـ– لا يقاوم الإحتكاك

الخامات المستخدمه

- المكون الأساسى لطوب الزركونيا هو ( خام اكسيد الزركونيوم )
- أفضل أنواع طوب الزركونيا تتم بإستخدام زركونيا نقيه حوالى ٩٩٪ درجة نقاء
- يمكن أن يصنع بإضافة مواد أخرى مثل( السيليمانيت – الألومينا – السيليكا – الكروميت)

- يجب أن تسخن الزركونيا قبل إستخدامها فى التركيب الى ١٤٠٠°م علـى الأقـل ( والأفضـل إلى ١٨٠٠°م) حتى نلافى عيوب الإنكماش و الإلتواء أثناء التصنيع أو الإستخدام
- يمكن إضافة الثوريا أو الماغنيسيا لتقليل نسبة إنكماش طوب الزركونيا
- أفضل حراريات الزركونيا ما يصنع من الزركونيا المنصهرة ، و لكن لتكاليفها العالية يستخدم هذا فقط فى البواتق الصغيرة و بعض الحراريات الخاصة ( أنظر الجزء الثالث من الحراريات)

## المواد الرابطه المستخدمة

لا تستخدم المواد التالية كمواد رابطة مع الزركونيا حيث لكل منها مضارها ( سـيليكات الصوديوم – الجير – السيليكا – الماغنيسيا )

**الألومينا** – أفضل المواد التى تستخدم مع الزركونيا كمادة رابطة فى حدود٣,٥٪ ألومينا

**الطين** – يمكن إضافته بنسبة ٣–٥٪ ليعطى جسم قوى ، و لكـن يعمـل علـى خفـض درجـة إنصهار الطوب مما يقلل من قيمة الزركونيا كمادة حرارية ، و فى هذه الحالة لا يستخدم الطوب أعلى من ١٢٠٠°م

**مواد عضوية** – مثل القلوفونيه و زيت التربنتينا و الجليسرين ، و لكـن يكـون الطـوب النـاتج بدرجة من المسامية لا تصلح لكثير من الإغراض ، و أفضل تلك المواد هى الجليسرين

**الزركونيا الغروانيه** – هى أفضل المواد الرابطة حيث يكون المنتج كلـه مـن الزركونيـا، وتجهـز الزركونيا الغروانيه بتحضير محلول نترات الزركونيوم ثم يتم التبخير الى الجفاف و يذاب فى الماء ، ويكرر هذا أربع مرات لكـى نحصـل علـى معلـق يحتـوى علـى ٢٪ مـن المـادة الغروانيه

## طريقة التصنيع

### الطحن والخلط

- تطحن الزركونيا المكلسة الى مسحوق مع مراعاة عدم زيادة نسبة الدقائق الناعمه جدا
- تخلط الزركونيا مع كمية مناسبة من المادة الرابطة و تطحن
- يراعى نسبة رطوبة متوسطة لكى لا يحدث التشقق

التشكيل – يجرى إحد الطرق الآتية :

أ – تشكيل بالضغط اليدوى فى قالب – وتعتبر طريقة صناعية بطيئة يراعى فيها الضغط الجيد في قوالب من الخشب ، ويحتاج التجفيف إلى عدة أسابيع

ب– كبس لدن – تستخدم عجينة يابسة لذلك ، وتستخدم لتشكيل البواتق و المنتجات الصغيرة

جـ– الكبس الجاف – باستخدام ماكينات كبس مع إستخدام دقائق ناعمة من الزركونيا المكلسة للحصول على جسم كثيف قوى

د – الصب – يمكن إستخدام طريقة الصب فى هذا الغرض بنفس الطريقة المتبعة فى المنتجات الأخرى

التجفيف

يجب أن يجف بعنايه ، خاصة في المنتجات التى شكلت بالطريقة الرطبة ، أما فى حالة إستخدام الكبس الجاف فى التشكيل فتكون مرحلة التجفيف أسرع

الحريق

يجب أن يحرق الطوب فى درجة حرارة أعلى من الدرجة التى يستخدم عندها ، و يحرق عند حوالى ١٧٥٠°م ، وأحيانا يسخن لدرجة الإحمرار ثم يتم حريقه بتسخينه كهربيا فوق درجة ٢٥٠٠°م

خواص طوب الزركونيا

– تصل نسبة إنكماش طوب الزركونيا إلى ١٠٪ من الحجم الأصلى ،و تقل فى حالة إستخدام الدقائق الناعمه إلى ٣–٥٪ كذلك عند إستخدام زركونيا تم تسخينها إلى ١٤٠٠°م أو أعلى قبل طحنها

– يتشوه طوب الزركونيا عندما يتعرض لضغط ٥٠ رطل/بوصه٢ عند درجة ١٤٥٠–١٦٠٠°م

– يتميز طوب الزركونيا بمقاومة تأثير الحراره إلى ٢٤٠٠–٢٦٠٠°م، إلا إذا إحتوى نسبه عالية من الماده الرابطة

– يعتبر طوب الزركونيا موصل ردئ للحرارة و معامل تمدده الحرارى صغير

- يقاوم طوب الزركونيا تأثير الخبث و الكيماويات و الإبخرة فى درجات الحرارة المرتفعة ، و هذه المواد لها تأثير ضار على معظم المواد الحرارية
- الوزن النوعىللزركونيا ٤,٨-٥,٠

## ٤-طوب الزركون Zircon Bricks

يستخدم الزركون أو سيليكات الزركونيوم ( $ZrO_2.SiO_2$ ) فى صناعة الطوب ، ويكون أقل مرتبه من طوب الزركونيا النقى

- عند استخدام الزركون النقى المكلس أو الزركون المنصهر يكون الطوب أكثر مقاومة لتأثير الخبث من طوب السيليكا
- يمكن الحصول على نوعية جيدة من الطوب باستخدام خليط من الماغنيسيا والزركون ، وأفضل هذه النسب هى ٢٠-٨٠ بالترتيب و الحريق إلى ١٤٨٠°م

المواد الرابطه

يستخدم الدكسترين - النشا - البوراكس - الجير -الطين - الماغنيسيا ، أو خليط منها

الخواص

- يقاوم طوب الزركون فعل التشظى و الخبث القاعدى و لكنه لا يقاوم تأثير الخبث الحامضى
- مقاومة طوب الزركون لتأثير الحرارة أقل من طوب الزركونيا
- الوزن النوعى للزركون ٤,٦

# ثالثا:الحراريات المتعادلةNeutral Refractories

## ١-طوب الكربون Carbon Bricks

يعتبر طوب الكربون مادة حرارية ممتازة -متعادلة- جيدة التوصيل للكهرباء - مقاومة عالية للتآكل و الإحتكاك

إستخداماته يستخدم فى :

- قاعدة و جوانب أفران الحديد و الصلب ( و تبنى الأجزاء العليا من الأفران بطوب من الطين والسيليكا )
- أفران صهر الرصاص
- الأفران الكهربائية لصهر الألومنيوم
- إستخدامه لتقليل أكسدة الفلزات فى الفرن مما يطيل عمر الفرن
- يستخدم كطبقه متعادلة لتفصل بين الطوب القاعدى و الحامضى فى بعض الأفران و المحولات

الخامات المستخدمه

- يستخدم فحم الكوك بحيث لا تزيد فيه نسبة الرماد عن ٨٪
- بعض انواع الكوك لا تناسب صناعة الطوب

المواد الرابطه

( القار – الطين النارى – سيليكات الصوديوم – لبن الجير )

إعداد التركيب

- تجهز الخامات فى طاحونة الكرة و تحفظ فى مكان دافئ
- تفرش كميه معلومة الوزن من الكوك الجاف الدافئ على هيئة طبقة رقيقة على أرضية نظيفة
- يصب عليها قار منصهر ( بما يعادل ربع وزن الكوك )و يخلط بالجاروف بسرعه حيث تتصاعد أبخره كريهة الرائحة

التشكيل

يشكل بالكبس تحت ضغط عالى فى قوالب من الحديد

التصلد Hardening

يتم التصلد فى غرف جيده التهوية ، و تكون باردة مع تجنب اى حرارة حتى أشعة الشمس المباشره حيث هذا يجعل الطوب لينا ضعيف ، و يمكن أن تنقل القطع الصغيرة إلى الفرن بعد عدة ساعات ، أما القطع الكبيره و الطوب تبقى فى غرف التصلد لحوالى ٢-٣ أسابيع

الرص Setting

- يجب تناول طوب الكربون بحذر حيث أنه سهل الكسر

- فى بعض الأحيان يوضع طوب الكربون فى علب حرارية أثناء الحريق بحيث تملأ تلك العلب بفحم الكوك و تقفل بعجينة من الطين، فى بعض المصانع يتم حرق طوب الكربون فى قوالب الحديد المستخدمة فى التشكيل
- بعد رص الطوب فى الفرن بإنتظام يغلق جيداً و تسد جميع الفتحات بعجينة من الطين لمنع تسرب الهواء الى الداخل لكى لا يحترق فى وجود الهواء ويتلف

## الأفران

- يستخدم فرن ( السحب الهابط **Down-draft** )
- تستخدم الأفران النفقية

## الحريق

- يحرق الى درجة التصلد و بعناية حيث يظل الطوب لينا بين ٣٠-٢٥٠°م ، ثم يتحول معظم القار الى كوك ثم يبدأ بعد ذلك فى التصلد ، ويتم الحريق فى ثلاثة أيام يليها مرحله التبريد و التى يجب أن تتم ببطء ، و يحرق لأعلى من ١٣٠٠°م
- لا يتم فتح الفرن إلا بعد أن يتم تبريد الطوب تماما حتى لا يتأكسد

## خواص طوب الكربون

- لون الطوب المصنوع من الكوك رمادى فاتح من الخارج و الداخل ، و عندما يطرق يصدر عنه رنين واضح
- يجب أن يكون بأسطح مستوية و حواف حاده
- يجب أن يكون مكسره خاليا من التشققات
- ذو مقاومة عالية للحرارة ، و لا يفقد شكله مهما إرتفعت درجة الحرارة
- عندما يسخن طوب الكربون و هو معرض للهواء فهو يحترق بالتدريج ، لذا يراعى وقاية أوجه طوب الكربون بتغطيتها بالطين النارى أو الطوب النارى
- ذو مقاومة للتغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة
- لا يتأثر بسرعه بالخبث
- حجمه ثابت بشكل ملحوظ عند التسخين
- التوصيل الحرارى ثابت

- الوزن النوعى يتراوح بين ١,٥-١,٩ يختلف بإختلاف نسبة الرماد ، و الذى يتراوح بين ٧-١٤٪

## ٢- طوب الكروميت Chromite Bricks

**إستخداماته**

يستخدم طوب الكروميت كطبقة متعادلة بين الطوب القاعدى و الحامضى فى أفران الصلب و أفران صهر النحاس و الأنتيمون و القصدير

**الخامات المستخدمة**

يستخدم معدن الكروميت Chromite Mineral ( Spinel ) $Cr_2O_3.FeO$ ، وخام الكروم –حديد Chrome-iron Ore مع نسبة من السيليكا تصل الى ٨٪

**المواد الرابطه**

- الطين النارى أو الكاولين
- الجير ٥٪من التركيب
- الماغنيسيا ٥-١٠٪ من التركيب
- القار يستخدم و هو ساخن

**تجهيز الخامات**

- تسحق المواد الخام و الرابطة ( ماعدا القار إن أستخدم )،مع كمية كافية من الماء لنحصل على عجينه متماسكه
- و عندما يستخدم القار يكون بنفس الطريقة المتبعة فى طوب الكربون

**التشكيل**

يتم التشكيل باليد فى قوالب من الحديد و يراعى الضغط الجيد

**التجفيف**

يرص الطوب على أرضية دافئة ، وترفع حرارتها تدريجيا ببطء ، ثم يزاد معدل التسخين بعد حوالى ١٢ ساعة ( الطوب الذى يستخدم فيه القار كمادة رابطة لا يجفف )

**الحريق**

لا تقل درجة الحرارة عن ١٤٦٠°م ، و يمكن أن يحرق طوب الكروميت مع طوب السيليكا و أن يتم الحريق بعناية تامة

**خواص طوب الكروميت**

- يحتوى على ٣٣٪ أكسيد كروميك ، والأنواع الجيدة تحتوى من ٣٥-٦٥٪ أكسيد كروميك مع أقل من ٦٪سيليكا
- يقاوم تأثير الخبث القاعدى و الحامضى
- يتأثر بالجو المختزل و الصدمات الحرارية
- يقاوم تأثير الحرارة إلى حد كبير
- عند الإستخدام يجب ألا يتعرض لدرجة أعلى من ١٥٠٠°م
- المسامية حوالى ١٤٪
- الكثافه النوعية الظاهرية يجب أن تتراوح بين ٣,٨-٤
- لا يتأكسد طوب الكروميت فى الهواء
- و عند وجود الكربون أو الغازات المختزله فى درجة حرارة مرتفعة يتكّون ( حديدوز الكروم Ferro-chrome ) كناتج اختزال

## ٣-طوب كربيد السيليكون Silicon Carbide Bricks

- طوب كربيد السيليكون غالى الثمن
- و نظرا لتميزه بالتوصيل الحرارى الجيد فإنه يستخدم فى أفران المينا و الأفران النفقية و العلب الحرارية و غيرها ، حيث تحتاج للتوصيل الحرارى الجيد فى درجات الحرارة العالية

**الخامات المستخدمة**

- يستخدم عادة الكربوراندم
- أو خليط من كربيد السيليكون ومسحوق السيليكون
- أو خليط من الكربوراندم و الزركونيا

**المواد الرابطة**

- سيليكات الصوديوم – ولكنها تقلل من مقاومة تأثير الحرارة

- الطين – ولكن يسبب إنكماش ملحوظ للطوب
- البوراكس – الجير – الماغنيسيا أو الدولوميت و غيرها

إعداد الخامات

تخلط الماده الخام المسحوقة و المادة الرابطة المختارة مع كمية قليلة من الماء فى خلاط

التشكيل

يتم التشكيل بطريقة الضغط اللدن فى قوالب باليد أو آليا

التجفيف

يتم على أرضية دافئة

الحريق

- يفضل إستخدام الفرن الكهربائى
- يستخدم غازات تعمل على وجود جو خامل أثناء الحريق لكى لا تتحلل المواد الرابطة أثناء الحريق
- تختلف درجة الحرارة المستخدمة للحريق من ١٤٠٠–٢٠٠٠ تبعا للخواص المطلوبة

## خواص طوب كربيد السيليكون

- صلد إلى حد كبير و يمكن إستخدام القطع الحادة لقطع الزجاج
- يتآكل الطوب بتأثير الخبث فى الجو المؤكسد أكثر مما هو فى الجو المختزل
- يقاوم تأثير الإحتكاك و التشظى
- يقاوم التأثيرات الميكانيكيه بدرجة كبيرة ، و لكنها تقل بالإستعمال لإنحلال الكربوراندم بتأثير الحرارة فى وجود الهواء
- تختلف المقاومة الميكانيكية للطوب مع تغير درجة الحرارة حيث تقل بإرتفاع درجة الحرارة إلى ٧٥٠°م ، ثم تزيد المقاومة إلى ١١٠٠°م ، ثم تعود لتقل بسرعة بعد ١١٠٠°م
- موصل جيد للحرارة( حيث يعادل ٣ أمثال توصيل طوب الماغنيسيا ، ٧ أمثال توصيل الطين النارى ، ١٢ مره مثل طوب السيليكا ) لذلك لا يفضل فى تبطين الأفران حيث تتسرب الحرارة أسرع من الأنواع الأخرى ، ولكن يمكن استغلال هذه الخاصية فى عمل البواتق

# الجزء الثالث

# الحراريات الخاصة

# الجـزء الثـالث

# الحـراريـات الخـاصـة

# Special Refractories

مقـدمـه

استخدامات الحراريات تتنوع و تختلـف و مجالاتهـا عديـدة منهـا الطـوب و اثـاث الافـران وغيرهـا–والتـى تنـدرج تحـت تقسـيم يمكـن أن يطلـق عليـه ( حراريـات ثقيلـة ) Heavy Refractoryوبجانب هـذا تسـتخدم المـواد الحراريـة بظـروف إعـداد و تشـكيل خـاص لانتـاج حراريات تدخل فى صناعة الخزف الراقى Fine Ceramic و يمكن أن يطلق عليها ( حراريـات خاصة )، و ذلك لتطلبها إحتياجات خاصة فى الإستخدام و ظروف الحريق ، و على ذلـك فهـى تستلزم بعض طـرق التشغيـل الدقيقـة و الخاصـة – وسوف نذكر فى الجزء التالى بعـض منهـا ، و الذى يتناول الحراريات ذات النعومة الدقيقة

و يمكن تقسيم تلك الحراريات تبعا لاستخدام الخامات الى :

١ – أجسام من الاكسيد الواحد

٢– أجسام من خليط من الاكاسيد

٣– أجسام من المركبات

و عند تشكيل القطع الصغيرة من الحراريات لا تكون ثمن الخامات باهمية فـى التكلفـة لـذا يمكن انتاجها باستخدام مناسب من المواد الموضحة بالجدول رقم (١) و فيه بعض الخـواص الهامـة للمواد

أولا : أجسام الأكسيد الواحد

من الجدول رقم (١) يتضح موادحرارية تستخدم كأكاسيد ذات قيمة توضحها الخواص المبينة بالجدول – و أهمها فى مجال الحراريات و أكثرها إستخداما ( الألومينا – الماغنيسيا – الزركونيا–البريليوم– الثوريوم ($Al_2O_3$ ,$MgO$, $ZrO_2$ , $BeO$ ,$ThO_2$) و كل منها يمكن أن تلبد (**Sintered**) لإعطاء جسم كثيف بعمليات تشغيل خاصة و تعتبر الألومينا هى الأكثر إستخداما

ثانيا: أجسام مخاليط من الأكاسيد

تستخدم مخاليط من الأكاسيد لإنتاج الحراريات الخاصة و يوجد العديد من التركيبات التى يمكن أن نحصل عليها و التى لها درجة انصهار عالية (وهذا ما توضحه تخطيطات الاصناف) و الجدول رقم (٢) يوضح بعض الخامات التى تستخدم بصورة كبيرة فى مجال الحراريات ، كذلك فإن أكثر تلك التركيبات إستخداما هى تركيبات ( الموليت و الزركون ) بسبب قابليتها للتشكيل الجيد مع الخواص الممتازة للمنتج

ثالثا : أجسام من المركبات

يزيد الإهتمام لتعيين خواص حراريات (الكربيدات و البوريدات و النتريدات والسيليسيدات) بهدف زيادة الاستفادة منها فى مجال الحراريات و حيث تتميز بخواصها الهامة ، فيما عدا بعض الحالات ذات المقاومة الضعيفة للاكسدة –و ينتج فى بناء كثيف **Dense** بالتلبيد **Sintring** فى جو متحكم فيه او بطريقة التشكيل بالضغط الساخن**Hot Pressing** والجدول رقم (٣) يوضح بعض المواد المستخدمه فى هذا المجال.

و مما سبق نجد إستخدام الخامات الحرارية فى إعطاء منتج ذو مواصفات خاصة ليستخدم فى مجال دقيق من صناعة الخزفيات- والتى تم تقسيمها تبعا لتواجدها فى تركيب الجسم ، إن كان بإستخدام أكسيد مفرد أوأكثر فى صورة مخلوط منها أو بإستخدام مركبات طبيعية

و كما ذكر سابقا فانه يستلزم هذه المنتجات إعداد و طرق تشغيل خاصة - سوف نذكر منها إعداد ( اجسام الألومينا ) كأحد أجسام الأكسيد الواحد ، و من خلالها نتعرف على طرق الإعداد و التشغيل للحراريات الخاصة-ثم يلى هذا بعض المنتجات الحرارية الهامة

**Table 1: Sintered Polycrystalline Refractory Oxides**

| Oxide | Formula | Fusion pt.,˚C |
|---|---|---|
| Aluminum | $Al_2O_3$ | 2050 |
| Barium | $BaO$ | 1920 |
| Beryllium | $BeO$ | 2550 |
| Calcium | $CaO$ | 2590 |
| Cerium | $CeO_2$ | 2750 |
| Chromium | $Cr_2O_3$ | 2330 |
| Hafnium | $HfO_2$ | 2840 |
| Lanthanum | $LaO_2$ | 2310 |
| Magnesium | $MgO$ | 2830 |
| Stronium | $SrO$ | 2420 |
| Tantalum | $Ta_2O_3$ | 1875 |
| Thorium | $ThO_2$ | 3300 |
| Tin | $SnO_2$ | 1900 |
| Uranium | $UO_2$ | 2820 |
| Vanadium | $V_2O_3$ | 1990 |
| Yttrium | $Y_2O_3$ | 2410 |
| Zinc | $ZnO$ | 1975 |
| Zirconium | $ZrO_2$ | 2770 |

**Table 2 : Mixed Oxides**

| Compound | Formula | Softining Point, ˚C |
|---|---|---|
| Mullite | $3Al_2O_3.2SiO_2$ | 1800 |
| Zircon | $ZrO_2.SiO_2$ | 1700 |
| Forsterite | $2MgO.SiO_2$ | 1890 |
| Spinal | $MgO.Al_2O_3$ | 2135 |
| Dicalcium silicate | $2CaO.SiO_2$ | 2130 |
| Barium zirconat | $BaO.ZrO_2$ | 2620 |
| Thorium zirconat | $ThO_2.ZrO_2$ | 2800 |
| Calcium hafnate | $CaO_2.HfO_2$ | 2470 |
| Barium thorate | $BaO.ThO_2$ | 2300 |

**Table 3 : Nonoxide Refractory Materials**

| Compound | Formula | Decomposition or softening pointe,˚C |
|---|---|---|
| Silicon carbide | SiC | 2500-2800 |
| Boron carbide | $B_4C$ | 2450 |
| Zirconium carbide | ZrC | 3550 |
| Hafnium carbide | HfC | 3900 |
| Tantalium carbide | TaC | 3900 |
| Grafite | C | 3650 |
| Zirconium boride | ZrB | 3040 |
| Titanium boride | TiB | 2940 |
| Titanium nitride | TiN | 2940 |
| Zirconium nitride | ZrN | 2980 |
| Molybdenum disilicate | $MoS_2$ | 2100 |

## - إنتاج حراريات الألومينا الراقية Fine Alumina

أ- المواد الخام Raw Materials

الألومينا - عامة الألومينا قليلة نسبة الصودا تكون أقوى عند تجهيزها كمادة مكلسة

ب- التركيب Composition

محتوى الالومينا يكون من ٨٥-٩٩,٥٪ فى حراريات الالومينا ، ويمكن اضافة الكاولين لإعطاء إمكانيات أفضل للتشكيل بالضغط - و كذلك لخفض درجة الحرارة اللازمة للتلبيد (Sintring) - كما تضاف الماغنيسيا MgO عن طريق التلك أو كربونات الماغنيسيوم MgCo3 -و تضاف ايضا بغرض رفع امكانية التشكيل بالضغط و كذلك لضبط الحجم الحبيبى بعد الحريق

و فيما يلى احد التركيبات

| | |
|---|---|
| 96.0% $Al_2O_3$ | 97.0% $Al_2O_3$ |
| 2.0% Plastic Kaolin | 0.6% MgO |
| 2.0% Talc | 2.4% $SiO_2$ |

و يحرق لدرجة التلبيد لاعطاء جسم كثيف في درجات حرارة حول ١٨٠٠ °م وبالتأكيد فان الأجسام التى تحتوى نسبة عالية من الالومينا تكون اكثر فى درجة الحرارية و اكثر قوة و الجدول رقم (٤) يوضح بعض الخواص التي يمكن توقعها من الاجسام التى تحتوى الومينا بنسب مختلفة

**Table 4: Properties of Aluminas**

| Property | 85% Al2O3 Vitreous | 95% Al2O3 Vitreous | 99.5% Al2o3 Vitreuos |
|---|---|---|---|
| Flexural strength ,psi | 30,000-45,000 | 45,000-50,000 | 50-60,000 |
| Modulus of elasticity,psi | 30-35 X $10^6$ | 40-45 X $10^6$ | 52 X $10^6$ |
| Specific gravity | 3.4-3.5 | 3.6-3.8 | 3.8-3.97 |
| Water absorption, % | 0,00-0,02 | 0.00 | 0.00 |
| Safe-use temperature, °C | 1300-1500 | 1600-1700 | 1950 |
| Coefficient of expansion,°C 25 to 1000° | 7.7-7.8 X $10^{-6}$ | 8.5-9.0 X $10^{-6}$ | 8.4 X $10^{-6}$ |

## جـ- طرق التشكيل

فيما يلى بعض طرق التشكيل الخاصة بتشكيل القطع الحرارية باستخدام خامات ذات نعومة دقيقه و تتطلب مواصفات أجسام خاصة و منها :

### ١- التشكيل بطريقة الضغط الجاف **Dry Pressing**

تمزج الألومينا المكلسة مع المكونات الأخرى ثم تطحن بطاحونة الكرة **Ball Mill** لتقليل حجم الدقائق الى الحجم البلورى الأساسى من ١-٤ ميكرون.

واحيانا تضاف بعض المواد العضوية الرابطة فى اعداد الخامة للتشكيل مثل السليلوز او الشمع أو نوع من الكحول ، و من الضرورى فى تلك الحالة ان تضاف تدريجيا الى ان تغطى جميع دقائق الأكسيد

ووجدت دراسات عديدة و أبحاث لتقنين عملية الطحن و الإستفادة منها و تقليل زمن الطحن مع اعطاء كفاءة للوصول الى الدقائق الناعمة جدا لبلورات الألومينا

و من الدراسات المختلفة وجد استخدام طريقة الطحن الجاف افضل من استخدام الطريقة الرطبه و كذلك اضافة مادة عضوية فى عملية الطحن تقلل زمن الطحن حوالى ٣٥٪ ، وأيضا بضبط النسبة المستخدمة من كرات الطحن الى نسبة الألومينا (بنسبة ٤,٢-١) تعطى افضل النتائج وكذلك فإن أكبر كفاءة للطحن لا تزيد عن ١٦ساعة

و لطحن الألومينا تستخدم كرات طحن من الألومينا لكى لايحدث تلوث للخليط

وفى حالة الطحن الرطب تجفف بطريقة الرش

- يتم الضغط من ١٠٠٠-١٠,٠٠٠رطل /بوصة مربعة
- يمكن إستخدام قوالب من الصلب الصلد و لكن للإستخدام فى المدى الطويل فإنه من الضرورى استخدام قوالب مصنعة من كربيد التنجستون ، وتوجد بعض الأشكال المعقدة من القوالب للقطع الخاصة .
- توجد انواع مختلفة من المكابس إن كانت ميكانيكية او هيدروليكية لإعطاء درجات من كفاءة الإنتاج وبانتاج آلى .

## ٢- التشكيل بطريقة البثق Extrusion

عادة ما تشكل بعض حراريات الألومينا( مثل انابيب الازدواج الحرارى ) بطريقة البثق

- و فى تلك الحالة يجب ان تضاف مواد عضوية الى الألومينا بنسب ملائمة ، و تختار تلك المواد العضوية بطريق التجربة ، و مثال لها إضافة ١٠٪ من نشا القمح الذى عادة ما يستخدم مع الصمغ أو الجليسرين ومع قليل من الماء أو بعض المواد الأخرى الرابطة
- و يجب أن يخلط بحذر مع تفريغ الهواء بواسطة ماكينة البثق
- وفى تلك الطريقة من التشكيل يراعى إستخدام ماكينات بثق ملائمة فى تشكيل المنتجات الأسطوانية بحيث لا تؤدى إلى تأثير إجهاد أو ضغط للشكل الناتج ، و ليكون بدقة و ملافاة تأثير ذلك على المنتج
- و يمكن بهذا الأسلوب إنتاج تنوع كبير من الأشكال مع دقة عالية فى عمل الفراغات (ان تطلب هذا )
- كما يمكن إنتاجها بأطوال مختلفه بطريقة (قطع سلك ) ثم ضبطها بعد الحريق مع التنعيم بالصقل إلى الطول المطلوب .

## ٣-التشكيل بالضغط المتساوى Isostatic Molding

تستخدم هذه الطريقة فى تشكيل بعض القطع العازلة مثل (شمعة الإشتعال Spark- Plug)

و لها ميزات مختلفة منها :

أ – تحتاج إلى قليل من الماده العضوية الرابطة (أو لا تحتاج لها )

ب– يمكن التوصل إلى كثافه عالية مع درجة انكماش حريق قليلة

جـ– القطع الصغيرة المشكلة بتلك الطريقة تكون بكثافة متجانسة والتى تلافى أو تقلل من حدوث عيوب الإلتواء و الكسر

د – الضغط العالى يقلل من درجة حرارة النضج المطلوبة

و لكن لها عيب فى إنها لا تعطى سطح دقيق والذى يرجع إلى إستخدام مادة المطاط فى القالب و كمثال لتلك الطريقة صناعة البواتق Crucible – وشكل رقم (١) يوضح إحد المكابس المستخدمة فى تلك الطريقة ، و يتم فيه التغذية بتعبئة دقائق الألومينا المجففه بطريقة الرش

فى المكان الخاص من القالب ، و بعد أن يتم التعبئة يغمر فى وسيط ماء أو زيت داخل غلاف ثقيل -ثم يتم تطبيق ضغط (هيدروستاتيك Hydrostatic ) من ٥٠٠٠-٢٠,٠٠٠ رطل/بوصة مربعة و يطبق لعدة دقائق

- يحتاج هذا أحيانا إلى تفريغ الهواء قبل تطبيق الضغط
- تعتبر تلك الطريقة بطيئة نسبيا فى الإنتاج فى عملية تعبئة القالب واخراج البوتقة

توجد طريقه أخرى لتطبيق ضغط متساو ، كما فى انتاج قطع (شمع الإشتعال-Spark-plug) بحيث يكون القالب من المطاط هو الوسيط لإجراء الضغط المتساوى(شكل رقم ٢) وفيه يعبأ القالب آليا ليسمح بإنتاج أكثر كميا و بعد أن يتم إخراج القطعه المشكلة من القالب تكون ذات سطح خارجى ناعم جداً

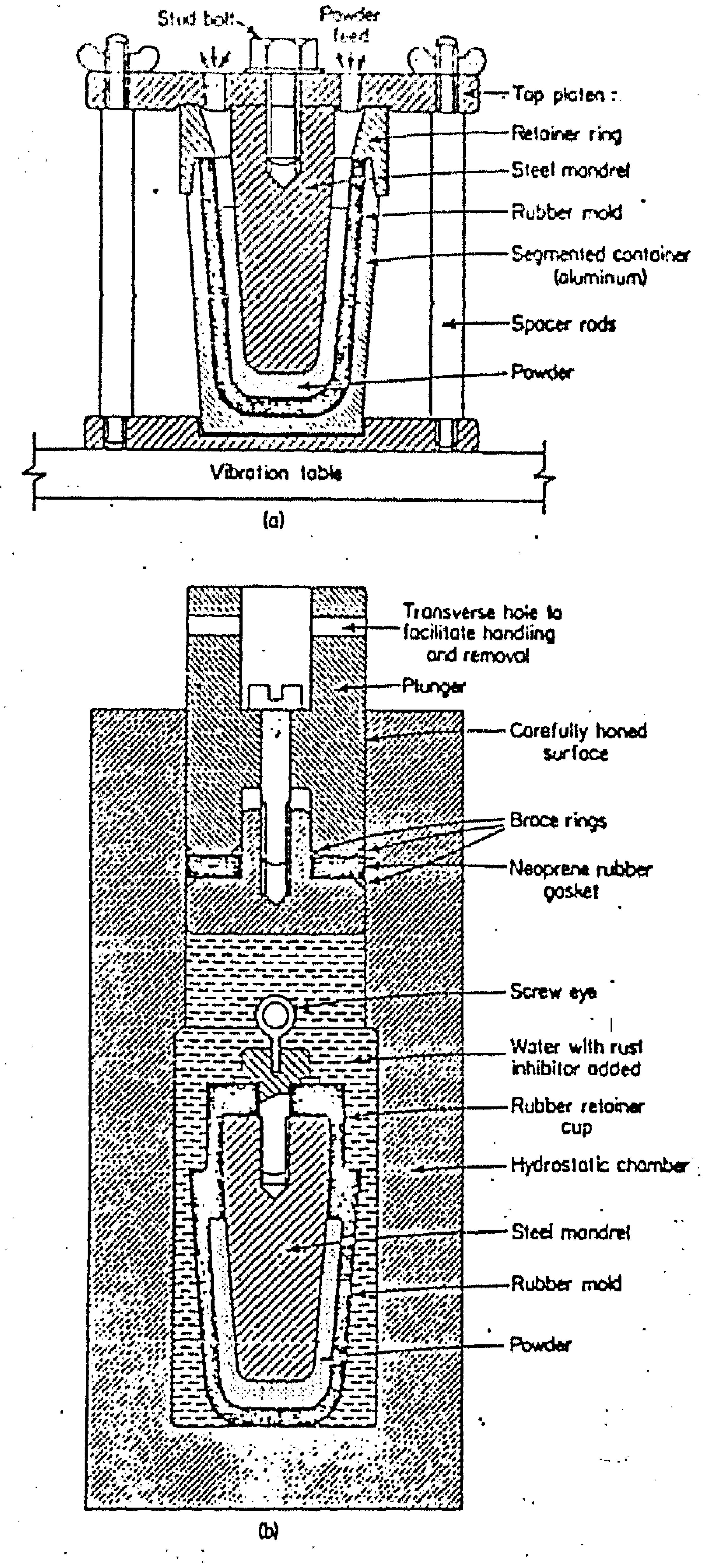
## ٤- التشكيل بطريقة الحقن Injection Molding

تشكل أحيانا العوازل الكهربية بطريقة التشكيل بالحقن ، و تستخدم لإنتاج بعض القطع الخاصة والخيوط الحرارية

ويشمل هذا خلط الألومينا بحوالى ١٥-٣٠٪من الحجم بمادة عضوية إلى أن يتم تغطية دقائق الألومينا الناعمة بالمادة العضوية -وعادة ما يستخدم فى صورة مستحلب

ثم يتم بعد ذلك معالجة للتركيب كما فى اللدائن Plastic المشكلة بطريقة الحقن - حيث يتم وضعها فى (غلاف Chamber ) مسخن ثم تدفع بقوة فى قالب مبرد و بضغط ١٢,٠٠٠-٢٠,٠٠٠ رطل/بوصة مربعة

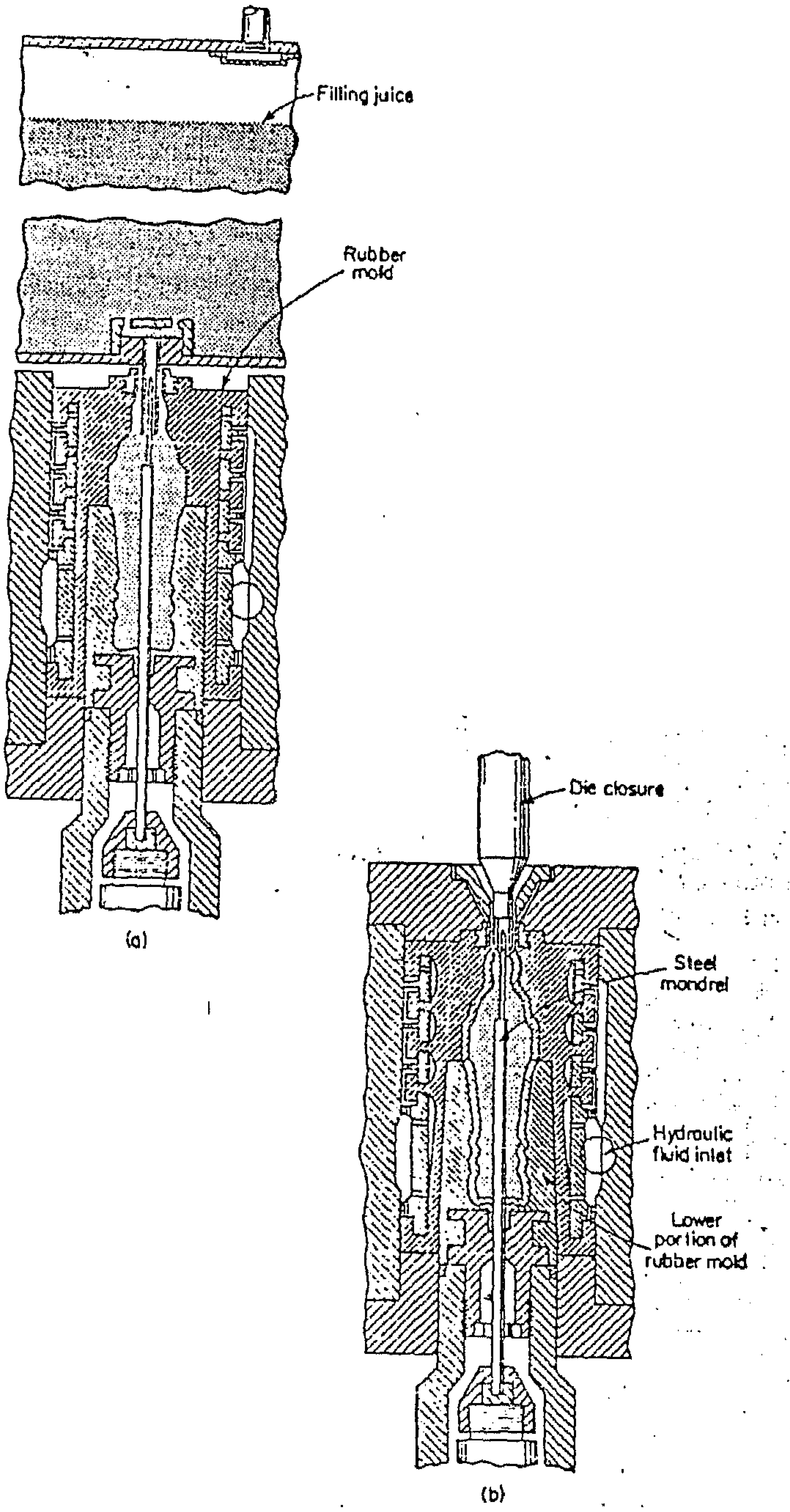
- ثم تسخن القطعة المشكلة تحت ظروف نتحكم فيها لحرق المواد العضوية ثم تحرق بالطريقة العادية
- و يكون المنتج بدقة فى الحجم( ±١٪ )و بتشطيب ممتاز
- وتتطلب تلك الطريقة معدل خاص لرفع درجة حرارة التسخين بطريقة متحكم فيها ليتم التخلص من المواد العضوية وتبعا للنوعية المستخدمة ،باستخدام معدل بطئ لرفع درجة الحرارة مع تثبيت الحرارة لعدة ساعات عند درجات معينة إلى حوالى ٥٠٠°م ليتم التخلص من المواد العضوية




شكل رقم (١)

**التشكيل بطريقة الضغط المتساوى Isostatic Molding**

**a- Mold filled b- Mold under pressure**




شكل رقم (٢)

**طريقة الضغط المتساوى فى ضغط قطع الإشتعال Spark - plug**

**a-Filling with powder b- Under compression**

## ٥- التشكيل بطريقة الصب Casting Slip

يمكن أن يتم عمل مستحلب من الألومينا المكلسة بطحنها فى طاحونة من الألومينا مع ضبط نسبة (الأس الايدروجينى pH ) إلى ٤,٥ ، مع كثافة نوعية من (٢,٥-٣جم/سم٣)

- وتشكل فى قوالب من الجبس بالطريقة المعتادة
- ويجب الحذر الدقيق عند تناول القطع المشكلة من القالب و تناول القطع غير المحروقه عامة
- وبسبب الإضافات يكون عمر القوالب المستخدمة قصير ، و لتقليل نسبة الهالك من القوالب فإنه يمكن عمل مستحلب بأس ايدروجينى من (١٠-١٢) - بإضافة (ايدروكسيد تترامثيل الامونيوم Tetramethyl Ammonium Hydroxide ) و الذى يتطاير أثناء الحريق
- أو إستخدام بعض المواد العضوية المشتتة الأخرى المناسبة .
- ويمكن إستخدام تلك الطريقة لصب بعض القطع المعقدة باشكال دقيقة مع إستخدام أجزاء معدنية خاصة فى القالب .

## ٦- التشكيل بالكبس الساخن Hot Pressing

بسبب صعوبة الوصول بالأكاسيد عالية النقاء إلى درجة التلبيد (Sintring) مع مسامية متعدمه (Zero) بدون منع نمو الحبيبات ، تم العديد من الأبحاث فى هذا المجال للوصول بأن يتم الضغط للتلبيد ، بينما الضغط العالى المستخدم فى درجات حرارة يكون أقل بكثير عن المتطلب فى الضغط الجوى

- فى تلك الطريقة يستخدم فرن لتسخين قالب التشكيل.
- و تستخدم قوالب من الجرافيت أو الخزف للكبس الساخن للألومينا
- ومثال لتشكيل الألومينا بتلك الطريقة بإستخدام الومينا ذات نعومة من ٠,٥-٣ ميكرون وضغط من ٤,٠٠٠-١٠,٠٠٠ رطل/بوصة مربعة، فى درجة حرارة من ١١٠٠°م الى ١٤٠٠°م مع استمرار الضغط لمدة ٦٠ دقيقة

## ٧- التشكيل بالبثق الساخن Hot Extrusion

يمكن إستخدام تلك الطريقة لتشكيل العديد من الأكاسيد اذا عبئت فى قوالب معدنية (كالصلب المقاوم للصدأ) ، ويكون الأكسيد بكثافة جيدة عند درجات الحرارة المعتادة مع إجراء ضغط متساو عالى جداً .

- وتوجد طرق أخرى للأشكال الخاصة و الدقيقة لبعض المنتجات الحرارية الخاصة وكذلك طرق تشطيب و تجميع من أجزاء

## حراريات البريليا Beryllia Refractory

البريليا ( BeO )الملبدة لها خواص هامة جداً ، كما يتضح من جدول رقم (١) حيث تستخدم فى مدى حوالى ٥٠٠°م أعلى من الألومينا ($Al_2O_3$) و ذات مقاومة حرارية عالية وكذلك مقاومة للصدمات الحرارية ، و هذه المادة تستخدم بصورة أكبر إن أخذت الإحتياطات اللازمة فى الصناعة بسبب خطرها على الصحة و كذلك أثناء عملية التناول

## المواد الخام Raw Materials

- يحتوى الأكسيد على ٩٩,٨٪ أكسيد بريليوم على الأقل
- و يمكن الحصول عليه على هيئة بلورات
- و يتكسر بعد الطحن إلى ١-١٠ ميكرون

## طريقة التصنيع Fabrication

يمكن أن ينتج بطريقة الضغط الجاف أو البثق ( كما هو مشروح سابقا فى جزء الألومينا ) مع إستخدام مواد عضوية رابطة

- و يتم الضغط لإعطاء الصلادة الى ٢٠,٠٠٠ رطل/بوصة مربعة
- و من النقاط الهامة و الدقيقة هو التخلص من المواد العضويه الشمعية من القطع المشكله وذلك بتدريج التسخين بإنتظام إلى ٥٠٠°م فى حوالى ٨ ساعات
- كذلك يمكن إستخدام طريقة الصب بإستخدام المستحلب بعد تنعيم الخامة فى طاحونة الكرات إلى الوزن النوعى (٢,٠جم/سم٣) وأس ايدروجينى pH ( ٥ ) كما فى الألومينا.
- ويتم الحريق عند ١٨٠٠°م مع تثبيت زمن الحريق ساعة لإعطاء كثافة ٩٧٪ من الكثافة النظرية ،مع عدم وجود مسام و بشفافية جيدة
- و ينتج نسبة كبيرة من منتجات البريليا بإضافة ٣٪ تلك او ماغنيسيا

## التطبيقات

لأجسام البريليا إستخدامات متنوعة فى الصناعات الإلكترونية حيث الموصلية الحرارية العالية **Thermal Conductivity**

## حراريات الماغنيسا الملبده Sintered MgO Refractory

الماغنيسيا الملبده لها نقطة انصهار عالية و مقاومة ممتازة ضد فعل ( الخبث Slag ) القلوى، ولكنها لا تتفاعل مع الكربون

- يمكن أن تنتج بطريقة الضغط الجاف مع إستخدام رابط عضوى مشابه جداً لما هو مشروح فى اجسام الألومينا و البريليا ،كما يمكن أن ينتج بواسطة البثق مع مادة سيليلوز رابطة
- أما فى طريقة الصب فإنها تحتاج إلى بعض المعالجات الخاصة بسبب عدم ثبات الماغنيسيا فى الماء،ولذلك يمكن أن يستخدم وسيط من الكحول الإيثيلى المطلق كطريقة عملية لتشتت دقائق الماغنيسيا
- ويجب أن تحرق الماغنيسيا النقية الى ١٩٠٠-١٩٥٠°م لكى يحدث التلبيد وليصل إلى الكثافة النظريه لها ، مع أخذ إحتياطات كبيرة عند رص المنتجات لملافاة التفاعل فى درجات الحرارة العالية ، ومنها انه يكون من الضرورى أحيانا أن يتم عمل الفرن من نفس مادة القطع التى تحرق فيه
- ووجد بعض الباحثين إمكان تشكيل أكسيد الماغنيسيوم بدرجة نقاء ٩٩,٩٪ للوصول الى الكثافه النظرية له ، وفى حجم حبيبى ناعم باستخدام طرق الكبس الساخن Hot Pressing عند درجة حرارة متوسطة ١٣٠٠°م و تحت ضغط ٤,٠٠٠رطل /بوصة مربعة لمدة ساعة ، ووضحت النتائج إنتظام التركيب

## بلورات الماغنيسيا الشفافه عديدة التبلور Multicrystalline

ذات أهمية كبيرة لكثافتها و مرور الأشعه تحت الحمراء - Infrared وتوجد بعض المراجع التى تصف طرق تصنيعها بتوسع

**تطبيقاتها**

تستخدم الماغنيسيا لعمل البواتق Crucibles و أدوات المعامل الأخرى لمقاومتها الإنصهار والمصهرات القلوية ، و بصورتها الشفافه فإنها تستخدم لنوافذ مرور أشعة تحت الحمراء

## منتجات الزركونيا الملبده Sintered Zirconia

- الزركونيا ($ZrO2$) ذات درجة إنصهار عالية و لكنها تلبد فى تركيب كثيف بطريقة مشابهة تماما كما فى الألومينا
- و المادة الخام بدرجة نقاء ٩٩,٧٪ زركون تكون ملائمه مع نسبه مئوية قليلة من اليورانيوم او الكالسيا او الماغنيسيا
- و يكون الأكسيد النقى حساس جداً لحدوث شروخ درجات الحرارة التى ينتج عندها التحولات السريعه للأشكال البلوريه للزركونيا عند حوالى ٦٠٠°م ، وتوجد بعض المواد التى تضاف لتثبيت الشكل البلورى و ملافاة التشقق

**التطبيقات**

- تستخدم الزركونيا فى أدوات رص الأفران فى صناعة الإلكترونيات وعمل الأنابيب والبواتق وغيرها .

## الموليت الملبد Sintered Mullite

البلوره شبه الإبرية هى الشائعة الإستخدام فى أجسام منتجات الخزف الراقيةWhite Waresوالتى تعطى قوة و تحمل تبعا لصفاتها العالية

- و ينتج الموليت ( $3Al2O3.2SiO2$ ) إما من إستخدام خليط بنسب محدده من البوكسيت والكاولين أو يستخدم للدرجة عالية النقاء كل من الألومينا والسيليكا جل.

- و تطحن المادة المكلسة او المنصهرة ثم تضاف مادة رابطة و تشكل بأى طريقة ملائمة كما فى الألومينا
- و تحرق المواد النقيه بين ١٧٠٠-١٧٥٠°م و التى ينتج عنها جسم كثيف شفاف
- و الجسم المحروق يكون بقوة جيدة فى كل من الظروف الباردة والساخنة ، وملائم فى مقاومة الصدمات الحرارية ويستخدم لأنابيب البارومتر و قطع الأفران و أوانى المعامل و شمع الإشتعال

بعض الأكاسيد الملبده الأخرى

منها الثوريا-اكسيد الكالسيوم - اليوتريا - اكسيد اليورانيوم

## أ- الثوريا **Thoria**

يعتقد ان الأكاسيد النقية ذات درجة الإنصهار العالية جداً تكون صعبة للحريق إلى الكثافة النظرية لها ،و لكن توصلت بعض الأبحاث إلى إنه بتكليس (أوكسى كربونات الثوريوم **Thorium Oxycarbonate** ) من ٦٠٠-١٠٠٠°م و بالضغط فى قالب صلب الى ١٢٠,٠٠٠ رطل/بوصة مربعة ينتج ٩٥٪ من الكثافة النظرية فى درجات حرارة متوسطة (حوالى ١٥٠٠°م)

- ووجد أن إضافة ٥٪أكسيد كالسيوم إلى أكسيد الثوريوم **ThO2** تعطى الكثافة النظرية عندما تحرق إلى ١٧٠٠°م لمدة ساعتين
- ومن نتائج بعض الأبحاث وجد إمكان التوصل للمواصفات المطلوبة بزيادة الضغط أو زمن الحريق
- ومن الإستخدامات الهامة لبواتق الثوريا التى تستخدم لصهر المعادن فى الهواء أو جو متحكم فيه، كما تستخدم لصهر المعادن النفيسة مع أدنى درجة من التلوث .
- ولكن يجب الحذر عند تسخين و تبريد أوانى الثوريا بأن يتم هذا ببطء حيث قلة مقاومتها للصدمات الحرارية عن الألومينا .

- و اذا خلطت الثوريا مع ١٥٪ يوتريا Yttria يمكن أن تستخدم كعناصر قابله للتسخين لدرجات الحرارة العالية لحوالى ٤٠ ساعة او اكثر عند ٢٠٠٠°م
- و يجب الحذر فى تناولها حيث تأثير (أشعة الراديو Radio ) و كذلك مراعاة شروط تخزينها

## ب- أكسيد الكالسيوم Calcium Oxide

يستخدم هذا الأكسيد فى صورة قليله فى الحراريات بسبب عدم ثباته فى الجو الرطب ، وافضل طرق تشكيله لإعطاء جسم كثيف ملبد هو أن يشكل بالضغط

## جـ- اليوتريا Yttria

يحدث التلبيد بإضافة ١٠٪ بالنسبه الجزيئيه ثوريا لملافاة نمو الحبيبات و بطريقة التشكيل بالكبس المتساو Isostatically و يحرق فى ظروف خاصة الى ٢٠٠٠°م لإعطاء الكثافة النظريه له

## د- أكسيد اليورانيوم Uranium Oxide

يحتاج إلى ظروف خاصة فى مراحل التشغيل

## الكربيدات الحرارية Refractory Carbide

### أ- كربيد السيليكون Silicon Carbide

هو أكثر الكربيدات الحرارية نفعا كمادة حرارية حيث يصنع من مواد أقل تكلفه و له مقاومة للأكسدة عالية

- والكمية الأكبر منه تستخدم كحراريات ثقيلة Heavy ولكن يمكن أيضا أن ينتج أجسام كثيفة متبلورة بتبلور ناعم
- يمكن أن ينتج بطرق الضغط الجاف أو البثق بإستخدام مواد رابطه عضوية
- الحريق النهائى يتم فى جو مختزل فى درجات حرارة عالية
- و هذه المادة لها مقاومة إحتكاك ممتازة و مقاومة لفعل الأحماض
- الإستخدامات الرقيقة Fine له هى البواتق وأجزاء الصمام والمقاومات الكهربية وبعض الإستخدامات الخاصة

### ب- كربيد الزركونيوم Zirconium Carbide

هذه المادة ذات درجة إنصهار عالية جداً ، و تنتج بالضغط الساخن عند ٦,٠٠٠ رطل/بوصة مربعة فى قوالب من الجرافيت ، عند درجة حرارة ٢٠٠٠°م لمدة ٣٠ دقيقة ، وإستخدام غاز الأرجون Argon

- وكربيد الزركون Zrc ذو مقاومة لتأثير التسخين ممتازه ، و لكنه يفتقر مقاومة التأكسد

### جـ- كربيد البورون Boron Carbide

مادة صلدة جداً أستخدمت لسنوات عديدة كمادة مقاومة للإحتكاك، و تصنع بطريقة الكبس الساخن فى قوالب من الجرافيت

### د- كربيد الثوريوم Thorium Carbide

يحضر من تفاعل اكسيد الثوريوم مع الكربون تحت ضغط و تسخين الى ١٣٠٠°م ، ويشكل كربيد الثوريوم مع كميات قليلة من الكربون إلى ١٩٥٠°م

### هـ- كربيد اليورانيوم Uranium Carbide

هذا الوقود النووى يكون عالى النشاط فى الهواء، لذا له إحتياطات وشروط خاصة فى إعداده

### و- الجرافيت Graphite

وجد رسوبيات عديدة من الجرافيت الطبيعى فى العالم و لكن تشكل المادة الحرارية بطريقة تشكيل الكربون فى قوالب مع التسخين لمدة طويلة تصل الى ٣-٥ أسابيع إلى درجة حرارة ٢٦٥٠-٢٩٠٠°م

- و كتلة الجرافيت سهل أن تشكل آليا وتكون بمقاومة عالية للتسخين، كما أنها ذات توصيل حرارى و كهربي عالى **Thermal & Electrical Conductivity**
- أجسام الجرافيت مع الطينات يمكن أن تستخدم لعمل البواتق لإنصهار معدن حديدى ، وهذه البواتق عادة تشكل بطريقة نصف آلية **Jiggered**

## البوريدات الحرارية Refractory Borides

بوريـدات الزركونيـوم والتيتـانيوم هـى عاليـة الحراريـة ومقاومـة للأكسـده الى ١٠٠٠°م وتشكل بالضغط الساخن

## النيتريدات الحرارية Refractory Nitrides

نيتريدات الزركونيوم والتيتانيوم هى عالية درجة الحرارية وهى مواد تشابه المعدن وتبدأ فى الأكسدة حول ١٠٠٠°م

## السيليسيدات الحرارية Refractory Sillicides

ان ما ذكر فى هذا المجال كمنتـج حـرارى هـو سيليسـيد الموليبدينـوم Molybdenum (MoS2)والذى يستخدم كعنصر تسخين حيث له كل من توصيل حرارى جيد و مقاومة عاليـة للأكسدة والتى تكون حول ٢١٠٠°م

## بعض الأجسام الحرارية الأخرى

### البورسيلان الحرارى

- هذه الأجسام تختلف عن أجسام الأكاسيد النقية المستخدمة للحراريات الخاصة لإحتوائها على محتوى زجاج مدرك
- إحد الأجسام المبكرة من تلك النوعية كان تركيبه (٣٥٪سيليكا ، ٦٣٪ الومينا، ٢٪بوتاسا)وظل لسنوات عديدة يستخدم فى المجال الكيميائى و الحرارة العالية ، وحديثا فإن بورسيلان الموليت الذى يحتوى صنف زجاجى ٥-١٠٪ أستخدم بصورة عامة فى البواتق وأدوات المعامل و أنابيب الإزدواج الحرارى و غيرها
- و البورسيلان الحرارى يشابه حراريات الألومينا للمنتجات الحرارية الخاصة(والمشروحة سابقا)
- و كذلك نجد بورسيلان البريليا و الزركون والموليت

- و الجدول رقم (٥) يوضح بعض الأمثله للبورسيلان الحرارى.

**Table 5 : Composition of Refractory Porcelains , by Percent**

| Material | Marquardt Porcelain | Alumina Porcelain | Zircon Porcelain | Beryl Porcelain | Mullite Porcelain |
|---|---|---|---|---|---|
| Kaolin | 65 | 10 | 5 | 20 | 12 |
| Feldspar | 1 | | | | |
| Flint | 15 | | | | |
| Aluminium hydrate | 19 | | | | 13 |
| Fused alumina | | 90 | | | |
| Zircon | | | 95 | | |
| Beryl | | | | 80 | |
| Mullite grog | | | | | 75 |

# الجزء الرابع
# بعض المنتجات
# الحرارية الهامة

# الجزء الرابع
# بعض المنتجات الحرارية الهامة

## مقدمة

فى هذا الجزء نقوم بعرض أهم المنتجات الحرارية بجانب ما عرض فى الأجزاء الثلاثة السابقة وخاصة الطوب الحرارى الذى يشمله الجزء الثانى ، وذلك فى مجال أثاث الأفران والبواتق ، والجدير بالذكر إن ما سنقوم بعرضه هو القليل من كثير من المنتجات التى لا يمكن حصرها فى هذا الجزء .

## أثاث الأفران

ما يستخدم من حراريات داخل الفرن يسمى ( أثاث الأفران ) و يشمل المبانى و الأرفف و أدوات رص المنتجات و علب الحريق Saggars و تلك الحراريات يتم تسخينها و تبريدها مع كل دورة حريق للمنتجات ومن الضرورى مراعاة فقد درجات الحرارة عن طريق هذا الأثاث و العمل على زيادة كفاءة الفرن ، كما يجب أن يقاوم الفرن فعل التشظى Spalling Resistance جيداً و الذى يحدث بسبب التغيرات الحرارية المتكررة . لذا من الضرورى تحديد و تعيين خواص الأثاث و خاصة ما يتم التحميل عليه و يجرى قياس القوى الميكانيكية عند التحميل فى درجات الحرارة العالية

## غرف الحريق Muffles

- غرف الحريق عبارة عن صندوق مصنوع من مادة حرارية توضع فيها المنتجات للحريق داخل الأفران دون حدوث إتصال مباشر للهب مع المنتجات ، ويوجد بمقاسات مختلفة إما صغيرة أو كبيرة لتكون هى الجسم الداخلى للفرن.
- القطع الصغيرة تكون قطعة واحدة أما الكبيرة تكون من الطوب أو البلاطات الحرارية
- و تخدم أغراض مشابهة لعلب الحريق ( الكازتات Saggars ) ولكنها تشبه الغرفة مما يجعلها أكثر ملاءمة لأغراض مختلفة للحريق
- غالبا ما تكون قائمة الزوايا ، ذات عِقد فى الجزء العلوى ، و الواجهه مفتوحة تقفل عند الإستخدام ببلاط أو طوب حرارى أو باب الفرن
- و يجب أن يكون جسم غرفة الحريق قليل السمك بقدر المستطاع و بقوة ملائمة لكى تسمح للحرارة بأن تتخللها
- و تستخدم غرف الحريق فى الصناعات التى تتطلب عدم ملامسة اللهب أثناء الحريق مثل
  - تسخين و تقسية القضبان المعدنية
  - طلاء المعادن بالمينا
  - طلاء و زخرفة الأجسام الخزفية
  - كما تستخدم الأحجام الصغيرة فى المعامل لإجراء بعض الإختبارات اللازمة
- و تتميز بعض الأنواع بالموصلية الحرارية العالية مثل المصنوعة من ( الألومينا المنصهرة ) و التى لها إستخدامات خاصة فى الأفران الكهربية ، وكذلك ( كربيد السيليكون ) و هو من أكثر المواد نفاذية للحرارة مع مقاومة كبيرة للتغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة .

### و غرف الحريق المصنعة قطعة واحدة تكون من

أ - الطين النارى والجروج

ب- كربيد السيليكون مع طينة الكرة كمادة رابطة

ج- سيليكا منصهرة

د- ألومينا منصهرة

و تبنى غرف الحريق الكبيرة من الطوب و البلاطات المصنوعة من الطين النارى و الجروج أو كربيد السيليكون أو السيليكا

و من خصائص غرف الحريق Muffles

١- غرف الحريق الصغيرة المصنوعة من السيليكا المنصهرة حرارية بدرجة كبيرة و لا تتشقق بتأثير التغيرات الكبيرة و المفاجئة فى درجات الحرارة
٢- غير منفذة لغازات الأفران لذا فإن إستخدامها يلافى تلوث المنتجات
٣- يمكن أن تصنع بأبعاد متنوعة تصل لأكثر من (٧٠×٤٠×٤٠ )سم

التركيب

ترتبط نسب الخامات المضافة على
١- مقاس غرفة الحريق
٢- درجة الحرارة التى يستخدم عندها
٣- الغرض المستخدم من أجله

و نسب الخامات والمواد المستخدمة لعمل غرف الحريق Muffles هى نفس النسب المستخدمة فى عمل الطوب النارى و الكازتات Saggars و لكن بإضافة نسبة أكبر من الجروج حيث تحتوى الخلطة الجيدة على نسبة ( ١:١ أو ١:٢ ) طفلة إلى جروج

كلما زاد حجم غرفة الحريق Muffle كلمازادت خشونة الجروج المستخدم ليعطى المسامية اللازمة و عدم التأثر بالتغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة ، و لا يفضل إستخدام المواد الكثيفة لصناعة غرف الحريق لأنها تتأثر بتكرار التسخين و التبريد

و يضاف حوالى ٢٥٪ من التركيب نشارة خشب للوصول إلى مسامية مناسبة تلائم تحمل مقاومة تكرار التسخين و التبريد ، و هذا يكون أكثر ملاءمة للأحجام الصغيرة من غرف الحريق أما الأحجام الكبيرة يلائمها الجروج الخشن

و بعد عجن الخلطة جيداً تترك لتخمر لتزيد اللدونة حيث نسبة الطفلة القليلة

## التشكيل

تصنع الأحجام الصغيرة بطريقة البناء بالشرائح ، و ذلك بإستخدام قالب من الخشب للشكل الداخلى للحجم المطلوب ثم بناء عليه بالشرائح بالسمك المطلوب لغرفة الحريق Muffles ، مع وضع عازل من قماش قطنى ثم يتم إزالة القالب ووضع الغرفة المشكلة على النهاية المغلقة على أرضية أو رف إلى أن تجف تماما

و يمكن تنفيذ الغرف ذات الأحجام الصغيرة بطريقة الصب

و تستخدم أحيانا طريقة البثق فى عمل غرف الحريق ولكن يحتاج هذا إلى تشكيل الجانب المغلق بلصق بلاطة من نفس التركيب فى إحد النهايات ، و عادة تسبب تشقق أو سقوط هذه النهايات حيث عدم تجانس الرطوبة والإنكماش و كثافة التركيب لباقى جسم غرفة الحريق

و الأحجام المتوسطة من غرف الحريق تشكل فى قالب خشبى و أحيانا تستخدم قوالب من الجبس و لكنها مكلفة نوعا ما حيث إنها سريعة البلى عن القوالب الخشبية

الأحجام الكبيرة من غرف الحريق يتم بناؤها من بلاطات أو كتل خاصة من الطوب بها حزوز وبروز ليتم إحكام الوصلات بعضها ببعض

## التجفيف

يجب أن تجفف غرفة الحريق بعناية و بطء حيث إنها عرضة للتشوه و التشقق ، و أكثر المجففات ملاءمة هى التى تتكون من أرفف من مواسير ١ بوصة (٢,٥ سم ) يتم تسخينها بواسطة البخار و توضع غرف الحريق Muffles المشكلة على ألواح من الصلب و هذه الألواح توضع على المواسير ، و هذه الطريقة تعمل على تساوى توزيع الحرارة

الحريق

ترص غرف الحريق الصغيرة بعد تجفيفها على هيئة أعمدة ( كل واحد فوق الآخر ) و يتم تسويتها في أفران حريق غير مباشر فى حريق سحب سفلى **Downdraft** مما يجعلها تسوى فى درجات حرارة عالية لتكون أكثر ملاءمة

## الخواص التى يجب أن تتحقق فى غرف الحريق **Muffles**

١- المقاومة لأعلى درجة حرارة يتعرض لها

و هذه من الخواص الأساسية للحراريات عامة

٢- المقاومة للتغيرات الحرارية المفاجئة

و هى مقاومة الصدمة الحرارية و خاصة فى الأفران التى يحتاج فيها إلى فتح باب الفرن بإستمرار أثناء الحريق و ذلك كما الحال فى الطلاء بالمينا مما يؤدى إلى تشقق علبة الحريق **Muffles** إذا كانت مصنوعة من خامات غير ملائمة للإستخدام

و كما ذكر سابقاً فإن الأجسام المسامية التى تتم بخلط نسبة من نشارة الخشب فى التركيب تكون أكثر ملاءمة لمقاومة التغيرات الحرارية المفاجئة ، و لكن يراعى أن لا تزيد نسبة نشارة الخشب فى التركيب عن حد معين لكى لا تزيد المسام و تتصل بعضها ببعض و تعمل على نفاذ غازات الحريق لداخل غرفة الحريق

٣- الموصلية الحرارية العالية

غرف الحريق الكبيرة المصنعة من الطوب النارى غير ملائمة لإنتقال الحرارة بسرعة لداخل الغرفة ، و لكن الألومينا المنصهرة و كربيد السيليكون هما الموصلية الحرارية الأعلى و الأفضل إلا أنهما أكبر تكلفة مع ميزة توفير الوقود حيث عند إستخدام كربيد السيليكون يعمل على زيادة سرعة توصيل الحرارة و تقليل و توفير الوقود بنسبة من (ربع إلى ثلث ) الوقود المستخدم

كما أن السيليكا المنصهرة ملائمة لغرف الحريق الصغيرة أكثر من الأحجام الكبيرة و ذلك فى مقاومة التغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة و هى أفضل فى التوصيل الحرارى عن الطين النارى

و عند إستخدام الطين النارى فى صنع غرف الحريق يمكن أن يتم بناؤه بأقل سمك لزيادة كفاءته و للحصول على أدنى مقاومة لمرور الحرارة

٤- عدم نفاذاللهب و الدخان و الغازات الضارة

كما ذكر سابقا ينبغى عدم إستخدام نشارة الخشب فى جسم غرفة الحريق و ذلك لكى لا يعمل على وجود مسام متصلة تعمل على مرور الغازات أو الدخان الناتج من الحريق

٥- عدم حدوث إنكماش أثناء الإستخدام

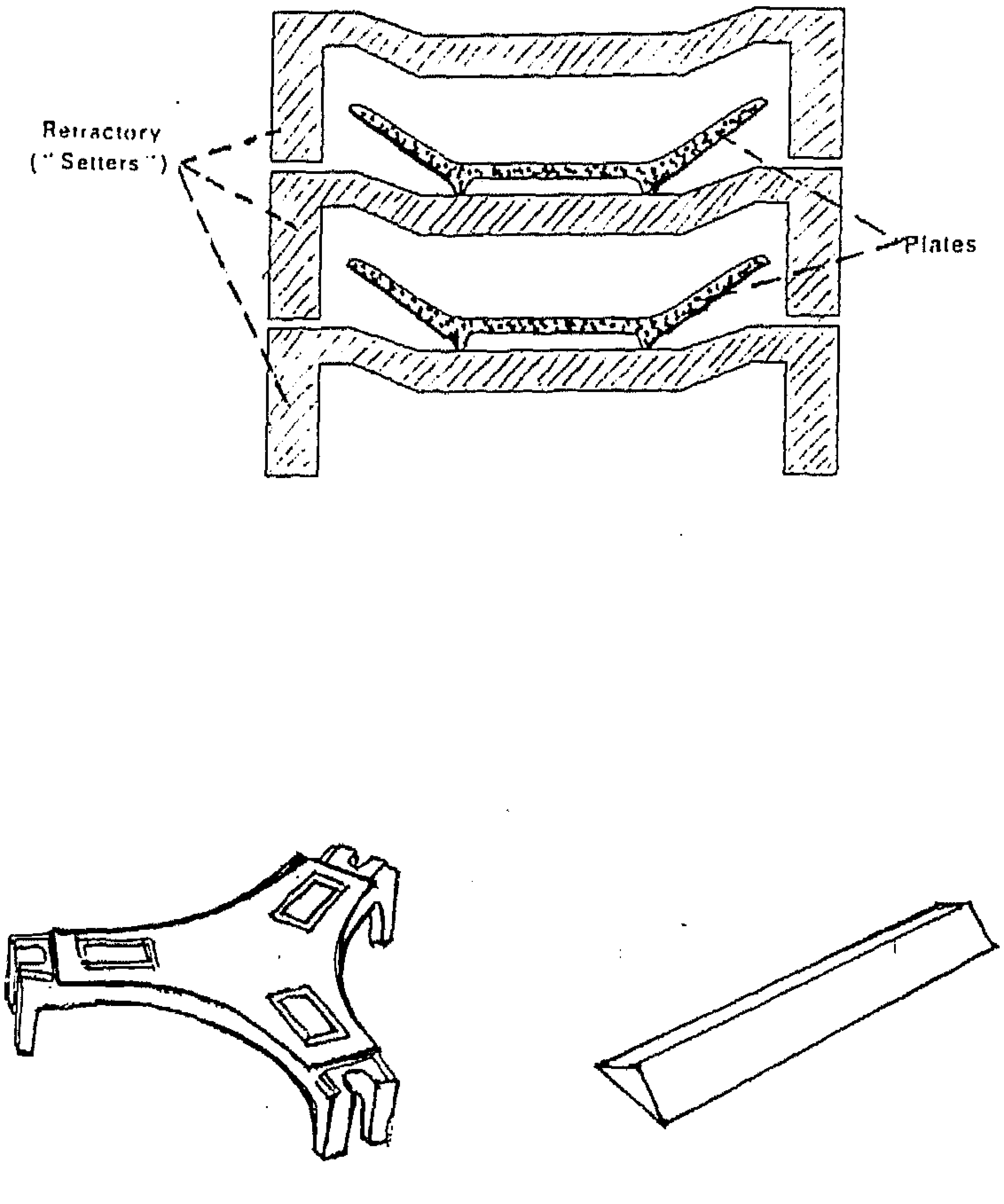
ينبغى أن لا يحدث إنكماش للخامات الداخلة فى التركيب لغرف الحريق **Muffles** أثناء الإستخدام ، لذا يجب أن تحرق الغرفة أو الأجزاء المكونة لها فى درجة حرارة أعلى من التى تستخدم عندها

## الأرفف و حوامل الرص

فى العديد من الحالات لا تحتاج المنتجات الحماية من غازات الحريق ، لذا يمكن إستخدام الأرفف و دعامات حمل الأرفف أو دعامات لوضع المنتجات عليها ، و تصنع تلك الأرفف والدعامات من الطين الحرارى أو الألومينا المنصهرة أو كربيد السيليكون أو الزركون ، وتختلف أشكالها و أحجامها و يتراوح السمك بين ( ١,٥-٦ )سم معتمد هذا على الحجم والتحميل

و تم عمل بعض أدوات الرص التى تسمح بزيادة فى إقتصاديات الحريق بأن ترص أكبر كمية فى مساحة ملائمة و هى للحريق المفتوح ( أى بدون إستخدام علب الحريق ) مثل الشرائح الحرارية **Bats** و دعامات **Props** و علب الحريق لأطباق المائدة أو أطباق الفناجين والتى تعرف بالـ **Setters** (شكل رقم ٣ )

( أنظر أدوات رص الأفران فى فصول فى الخزف" الجزء الأول" فصل أدوات و ماكينات_صفحة رقم ١٤٦ )




شكل رقم (٣)

يوضح بعض أدوات الرص فى الأفران

و فى هذه الحالة فهى تسمح بعدد أكبر بزيادة مـن ٢٥-١٠٠٪من الحجـم المعطـى عـن إستخدام علب الحريق الحرارية أى هى أكثر إقتصادية ، و لكن العلب الحرارية Saggars هـى أكثر أثاث الفرن ملاءمة لحريق الأطباق المستديرة و منتجات البورسيلان البيضاء أو عند حريق الطلاء و الذى يتطلب حماية المنتج من غازات الحريق مـع العمـل علـى إنتظام توزيـع درجـات الحرارة للأشكال الدائرية و خاصة الأطباق

## علب الحريق Saggars

هىصناديق حرارية تستخدم فى وضع المنتجات بداخلها أثناء الحريق و ذلك لتلافـى تأثير اللهب و الرماد و الدخان و الغازات على المنتج ، كذلك تعمل على إنتظام توزيع الحـرارة فـى خزف درجات الحرارة العالية مثل البورسـيلان و خاصـة الأشـكال الدائريـة و الأطبـاق و مـا شابهها، و التى تتطلب تساوى درجة الليونـة Softening Point فـى أجـزاء الشـكل لكـى لا يحدث التشوه من إعوجاج أو إنبعاج و الذى يحدث عندما يحرق فى حريق مباشر بحريق مفتوح Open Firing

و تلك العلب تمتص الحرارة من الفرن ثم تشع تلك الحرارة على ما تحتويه من منتجـات ، لذا فإن أجود العلب هى التى تتميز بالموصلية الحرارية لكى لا يفقـد نسـبة مـن الحـرارة نتيجـة إستخدام تلك العلب

و تكون فى أشكال دائرية أو بيضاوية و أحيانا مربعة أو مستطيلة الشكل ، و فى أحجـام مختلفة بسمك يتراوح من حوالى ١ سم - ٢,٥سم ، و كلما كان جـدار العلبـة الحراريـة أقـل سمكا كلما كان ذلك أفضل فى إنتقال الحرارة مـن خـلال الجـدار إلى محتويـات العلبـة ، حيـث يؤدى الجدار السميك إلى بطء إنتقال الحرارة كما يعمل على شغل حيز أكبر مـن العلـب ذات الجدار الأقل سمكا ، كما يحتاج إلى مادة أكبر لتجهـيز العلب لذلـك فـإن العلـب الأقـل سمكـا تكون أكثر إقتصادية لإحتياجها إلى كمة أقل من الخامة فى تصنيعهـا ، ووقودأقـل فـى حريقهـا وكذلك أسرع فى توصيل الحرارة للمنتجات بداخلها مما يعمل على توفـير الوقـود أيضـا عنـد حريق المنتجات

و يراعى الفراغات عند رص العلب داخل الفرن ، و هى تستخدم كدعامات بجانب إنها سواتر لحماية المنتج من غازات الحريق حيث ترص عادة الواحدة على قمة الأخرى ، و يجب مراعاة الفراغات بينها لكى تمر الغازات الساخنة

و العلب الحرارية تكون كالصناديق المفتوحة فإن قاعدة الواحدة منها تكون غطاء للعلبة التى أسفلها ، حيث ترص الواحدة فوق الأخرى ، و أحيانا توجد فتحات بقاعدة العلبة الحرارية إذا كانت معدة لحرق أجسام بها بروز من أسفل ليخرج هذا البروز من الفتحة إلى تجويف العلبة التى أسفلها ، و بهذا يمكن إستغلال للفراغات و شغل حيز أكبر من الفرن ، وبالنسبة للمنتجات ذات الإرتفاعات الكبيرة توضع حلقات **Ringers** فوق العلب الحرارية

## و من خصائص العلب الحرارية التى يجب أن تتوافر بها ما يلى

١- أن يكون لها قوة تحمل و مقاومة للضغط عالية لكى تتحمل الأحمال برص الواحدة فوق الأخرى داخل الفرن
٢- أن تكون بكثافة عالية
٣- مقاومة عالية للحرارة لتفى بالغرض التى صنعت من أجله
٤- مقاومة الصدمات الحرارية عند تغير درجات الحرارة المفاجئة
٥- عدم الإنكماش

## من عيوب العلب الحرارية

١- عمر العلبة الحرارية كان فى الماضى لا يزيد عن ٢٥ دورة حريق ( تسخين و تبريد ) ثم تطورت لتصل إلى حوالى ١٠٠ دورة تبعا للتركيب و تحملها للصدمات الحرارية و التغيير فى درجات الحرارة ، أما الآن يجب أن تتحمل لأعلى من ١٠٠ دورة بل تصل إلى عدة مئات من الدورات لكى تكون أكثر إقتصاداً حيث يدخل هذا فى تكلفة الحريق و يتم ذلك بتطوير التركيبات التى تنفذ منها

٢- إنفصال بعض الدقائق من داخل العلبة لتسقط على المنتج المتزجج لتؤدى إلى عيوب خطيرة ، لذا يجب أن يكون سطحها الداخلى ثابت و ناعم و عادة ما يطلى السطح الداخلى بطبقة خفيفة جداً من مركب قليل التزجج من الطلاء الزجاجى

## الخامات التى تستخدم فى صناعة علب الحريق وأثاث الأفران عامة

من الإقتصاد إستخدام خامة ذات جودة عالية فى صناعة أثاث الأفران حتى لو كانت عالية التكاليف و ذلك للعمل على زيادة فترة إستخدامها لمئات المرات ( كما ذكر سابقا ) مما يعمل على تقليل التكلفة الناتجة عن إستخدام علب الحريق و أثاث الأفران عامة

### ١- الطين النارى Fire Clay

من أكثر المواد ملاءمة لتصنيع علب الحريق Saggars فى درجات الحرارة المعتدلة وخاصة بالنسبة لتكلفتها أما للدرجات الأعلى توجد نوعيات أخرى مثل كربيد السيليكون والموليت و الزركون

و تصنع غالبا من ٥٠٪ طين نارى Fire Clay مع ٥٠٪ جروج Grog و هو كسر العلب المحروقة سابقا ، تطحن و تنعم و تضاف إلى الطين النارى وذلك لمنع التشقق و الإنكماش الكبير

و يختلف نوع الطين النارى المستخدم فى علب الحريق بإختلاف الغرض الذى تستخدم فيه هذه العلب وإذا تعذر إستخدام نوع واحد من الطين يمكن إستخدام خليط من نوعين أو ثلاثة لإعطاء المواصفات المطلوبة

### ٢- الألومينا – الكوراندم Corundum

تنتج علب حرارية ممتازة بإستخدام الكوراندم و هو صورة لأكسيد الألومنيوم غير مائى، و ذلك بإضافة نسبة من الطين كمادة رابطة مع مادة صهر مناسبة للعمل على ربط بلورات الألومينا المنصهرة التى لها خاصية الحرارية العالية ، و لتقليل درجة حرارة الحريق وتكلفته العالية و أيضا لإعطاء صلادة أعلى

و العلب المصنعة من الألومينا المنصهرة هى أكثر متانة و قوة تحمل عن المصنعة من الطين النارى

٣- السيليكا المنصهرة

تعتبر السيليكا المنصهرة ضرورية فى صناعة العلب الحرارية لأنها تكون خفيفة و قوية وتقاوم تأثير الحرارة و يمكن تشكيلها تبعاًللشكل المطلوب - ولا تلتوى تحت تأثير الحرارة والثقل المعتادين ، و يكون السمك للعلب المصنعة من السيليكا المنصهرة حوالى ١ سم مما يعمل على سهولة إنتقال الحرارة إلى المنتجات التى تحتويها

٤- المولیت و السيليمانيت **Mullite & Sillimanite**

سيليكات الألومنيوم ، و الكيانيت الطبيعى $Al_2O_3 .SiO_2$ والموليت الصناعى $3Al_2O_3.2SiO_2$ يكونوا أكثر حرارية لإحتوائهم على الألومينا ، و يضاف نسبة قليلة من التلك حوالى ١٠٪ لتكّون كورديريت $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ الذى يؤدى إلى تمدد حرارى صغير جداً و يعمل على زيادة مقاومة الصدمة الحرارية مما يؤدى إلى تلافى التشقق

٥- كربيد السيليكون **Silicon Carbide**

كربيد السيليكون SiC له مقاومة أكبر للّصدمة الحرارية و هذا يصبح مناسب جزئيا لحريق الخزف إذا لم يكن عند إستخدامه العيوب التالية

أ - إنه غالى التكلفة

ب- يتأكسد ببطء منتجاً أول أكسيد الكربون الذى يكّون غاز إختزال والذى يكون ضار فى أغلب المنتجات الخزفية

ج- كذلك تتكون السيليكا والتى تسبب كبر حجم القطعة الحرارية

و لملافاة تلك العيوب يتم تغطية علب الحريق بطبقة من الألومينا

٦- الزركون **Zircon**

سيليكات الزركون $ZrO_2 . SiO_2$ تستخدم عندما يتطلب الخمول الكيميائى مثل إستخدامه لأبخرة الطلاء الزجاجى

و الزركون مادة حرارية عالية و أكثر صلابة من الكوارتز ، و تستخدم أيضاً لعمل الأرفف و بعض قطع من أثاث الأفران ، كما يمكن إستخدام الزركونيا و هى أكسيد الزركونيوم $ZrO_2$ فى جميع درجات الحرارة و لها درجة إنصهار عالية

## التشكيل

كانت تشكل علب الحريق Saggars بطرق يدوية فى قالب خشبى و هذا يحتاج إلى جهد كبير ، كما أستخدم أسلوب الضغط الآلى لتشكيل علب الحريق ، و حديثا تستخدم طريقة الصب بإستخدام القوالب

## التجفيف

عادة ما تجفف علب الحريق على أرفف فى غرفة تجفيف بواسطة مرور الأبخرة فى أنابيب أسفل تلك الغرفة

و يجب الحرص الكامل لتجنب حدوث شروخ فى هذه المرحلة ، لذا يجب التحكم فى درجة حرارة التجفيف و درجة الرطوبة أيضاً فى جميع أجزاء المجفف بالتساوى على قدر الإمكان

## الطلاء

كما ذكر سابقاً لتجنب سقوط بعض دقائق من علب الحريق على المنتجات المطلية التى تحتويها العلب فإنه يتم تطبيق طلاء زجاجى خفيف جداً فى طبقة ( غسيل ) رقيقة جداً تعمل على تجنب سقوط الدقائق أو تساقط طبقة الطلاء عندما يكون سميكا ً

## البواتق Crucibles

هى أوعية ذات فوهة واسعة تستخدم فى تسخين بعض المواد و صهر المعادن و السبائك أو فى بعض الصناعات كما فى صناعة الزجاج ، و توجد بمقاسات مختلفة من الصغير من إرتفاع بوصة (٢,٥ سم تقريبا ) والتى تستخدم فى الإختبارات المعملية إلى أحجام كبيرة تستخدم فى صهر الصلب يتراوح إرتفاعها بين ١٦-٢٦بوصة (٤٠ -٦٥ ) سم و أقصى قطر ٩بوصة (٢٢,٥ سم ) و قطر الفوهة يتراوح من ٦-٨ بوصة (١٥-٢٠) سم ، و عند ملئها بأجزاء من الحديد يصبح الحجم بعد الصهر نصف البوتقة فقط أو ما يزيد قليلا

### ومن خواصها

يجب أن تتميز البواتق ببعض الخصائص الهامة ومنها

١- درجة الحرارية

يجب أن تكون البواتق بدرجة تحمل حرارى مناسبة لمقاومة درجات الحرارة التى تستخدم فيها – ووجود بعض الشوائب القليلة أو المواد الرابطة فى التركيب تعمل على خفض درجة الحرارية بعدة مئات من الدرجات المئوية عن الخامة النقية

٢- المسامية

يجب أن تكون المسامية فى البوتقة بدرجة ملائمة لتتحمل الصدمات الحرارية حيث تؤخذ من الفرن ذو الحرارة العالية و تفرغ سريعا وتملأ وتوضع مرة أخرى فى الفرن – كما يجب أن لا تكون درجة المسامية كبيرة لكى لا تتخللها المصهورات السائلة أو الخبث او المعادن المنصهرة

٣- القوى الميكانيكية

يجب أن تتميز البواتق بقوى ميكانيكية عالية جداً خاصة فى درجات الحرارة العالية التى تستخدم فيها البواتق ، وتلك القوى هى مقاومة إجهاد الشد و تحمل قوى الضغط لمقاومة ضغط المحتويات على جدرانها – و الجدير بالذكر أن تلك القوى تختلف فى درجات الحرارة المختلفة

## ٤- مقاومة الصدمة الحرارية

هى مقاومة البوتقة للتغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة و لها الأهمية الأولى حيث تسحب البوتقة من الفرن فى درجات الحرارة العالية لتفريغ المادة أو المصهور منها و إعادة ملأها وإدخالها مرة أخرى فى الفرن فى درجة الحرارة العالية ، لذا يجب أن تقاوم التغير المفاجئ فى درجة الحرارة

و ترتبط درجة حساسية البوتقة للتغيرات المفاجئة فى درجة الحرارة على نسبة المسامية وعلى كمية المواد المتزججة و الكثيفة بها حيث تقل مقاومتها كلما زادت كثافتها

و الجرافيت أكثر المواد مقاومة للتغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة ، كذلك السيليكا المصهورة أو الزركونيا – كما يمكن لخليط غنى بالجروج والرمل أن يكون له مقاومة عالية للصدمات الحرارية إلا أنه أقل حرارية عن إستخدام الجرافيت

## ٥- التمدد الحرارى

التمدد الحرارى له أهمية أساسية مرتبطاً بمقاومة البوتقة للتغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة و خاصة عند إختلافها على أجزاء البوتقة و ذلك مثل التسخين من جانب واحد معرض للهب المباشر عن الجانب الآخر

## ٦-التوصيل الحرارى

من أهم خصائص البواتق هى خاصية التوصيل الحرارى ، حيث البواتق ذات التوصيل الحرارى المنخفض تحتاج إلى وقود أكثر لرفع درجة حرارة محتويات البوتقة

و المواد الحرارية ( الطين – الجروج – الموليت – المواد الرابطة ) لها توصيل حرارى منخفض لذا بإضافة نسبة من الجرافيت أو الألومينا الملبدة إلى الطين يعمل على زيادة درجة التوصيل الحرارى لدرجة كبيرة ، حيث أن بواتق الجرافيت تحتاج إلى ثلثى كمية الوقود المستخدم فى صهر الصلب ، كذلك يقل الزمن المطلوب لتحقيق ذلك

## ٧- مقاومة البوتقة لفعل المحتويات بداخلها

من الأهمية الكبيرة جداً هى مقاومة البواتق لفعل المحتويات التى بداخلها ، لذا يجب إختيار البوتقة الملائمة للمادة التى تسخن أو تصهر بها لكى لا يحدث لها تآكل أو تفاعل معها ، كما أن الفترة التى يمكثها المصهور فى البوتقة و مدة التسخين لهما تأثير كبير على درجة تحمل البوتقة للتآكل

## أهم المواد و الأكاسيد النقية المستخدمة لعمل البـواتـق هى

الألومينا – الماغنيزيا – الزركونيا – الثوريا – التيتانيا – البريليا – السبينل Spinel

و يمكن إستخدام أكسيدين أو أكثر فى عمل البوتقة تبعا للخاصية المطلوبة ، وكما ذكـر فى الجزء الثانى و الثالث عن منتجات الحراريات و حيث أعطيت أمثلة مختلفة للبواتق ، و هنـا نذكر بعض الأنواع و أهميتها و خواصها

## و فيما يلى يتم إختيار أكثر أنواع البـواتـق إستخداماً

### ١- بـواتـق الزركونيـا

أفضل البواتق المصنوعة من الزركونيـا بـدون إضافـة مـادة رابطـة ، تشـكل مـن الدقـائق الناعمة للزركونيا الغروية أو كلوريد الزركونيوم أو أن يضاف قليل مـن حـامض الهيدروليـك Hcl إلى الزركونيا ليعمل على لصق الدقائق الخشنة بعضها ببعض

و البواتق المصنوعة من الزركونيا النقية تكون مسامية جداً ، لذا يضاف مـن ١-٣٪مـن ثوريـا مكلسـة أو ماغنيزيـا منصهرة ليقلـل المسـامية إلى حـوالى ٢٪ بـدون أن تخفـض درجـة حراريتها

### بـواتـق الزركـون

بواتق الزركون ( سيليكات الزركونيوم $ZrSiO_4$ ) لها مقاومة عالية للخبث و المصهرات و لكن ليس كما فى بواتق الطين ، و لها معامل توصيل حرارى منخفض و بالتالى فإنها تسـخن ببطء شديد

## طريقة تشكيل بـواتـق الزركونيـا

يمكن صناعة بواتق الزركونيا ، كما ذكر – من الزركونيا النقية مع مادة رابطـة و مـواد تعمل على تقليل المسامية ، أو أى إضافات أخرى ملائمة مثل الماغنيزيا أو الثوريـا أو اليوتوريـا **Yttria**

و تستخدم طريقة الصب فى التشكيل و يضاف قليل من حامض الهيدروليك **Hcl** وذلك بالصب فى قوالب من الجبس و يجفف بعد ذلك بعناية ثم يحرق

## حريق بـواتـق الزركونيـا

ترص أولا بواتق الزركونيا أو الزركون فى فرن حريق غاز لتتماسـك ثـم يجـرى حريقهـا فى فرن كهربائى لدرجات الحرارة العالية ، و توضع المنتجات على لوحة من الزركونيا لكى لا تتفاعل القاعدة مع البوتقة

يتم التسخين فـى فـرن كهربـائى إلى ١٧٠٠–٢٢٠٠°م ثـم تثبـت درجـة الحـرارة لمـدة ساعتين أو أكثر عند تلك الدرجة حسب حجم البوتقة ، و لكى ينتج جسم كثيف و صلد

## الزركونيا و الزركون كبطانة للبـواتـق الأخرى

تستخدم كل من الزركونيا أو الزركون فى تبطين البواتق لزيادة قوة تحملهـا بـأن تطحـن الخامة ناعم و تخلط بمادة رابطة عضوية و تطلى بها البوتقة و تجفف بعنايـة إلى درجـة ١٥٠ – ٢٠٠°م ، و من الأفضل تبطين البوتقة ببطانة جديدة عند كل إستخدام

## ٢– بـواتـق الطـين

تصنع من الطين النارى و الجروج و يمكن إستخدام طريقة الضغط فـى قوالـب للأحجـام الصغيرة أو طريقة السادف **Jollying** فى طريقة نصف آلية للأحجام الأكبر

و لها إستخدامات كثيرة فى إجراء الإختبارات و الإنصهار فى درجات الحرارة المنخفضة

## ٣- بـواتـق الجـرافيت

لها مجالات كبيرة فى الإستخدام و يزيد الجرافيت من التوصيل الحرارى مع إعطـاء جسـم قوى فى درجات الحرارة العالية ، و تصنع من الطين النارى مع الجرافيت الذى يصل إلى ٥٠٪ من التركيب

و تشكل بنفس طريقة تشكيل بواتق الطين بالسادف **Jollying**

## ٤- بـواتـق كـربيد السيليكون

تعرف ببواتق الكربوراندم و تتكون أساسا من كربيد السيليكون و الذى يخلط بالطين أو الجير كمادة رابطة أو بإضافة الصمغ

كما يتم عمل بواتق الكربيد بإستخدام خليط من الجرافيت و السيليكون

و تصنع بواتق الكربيد عادة تحت ضغط ، و تجف و تحرق كما فى بواتق الطين

وأهم مميزاتها:

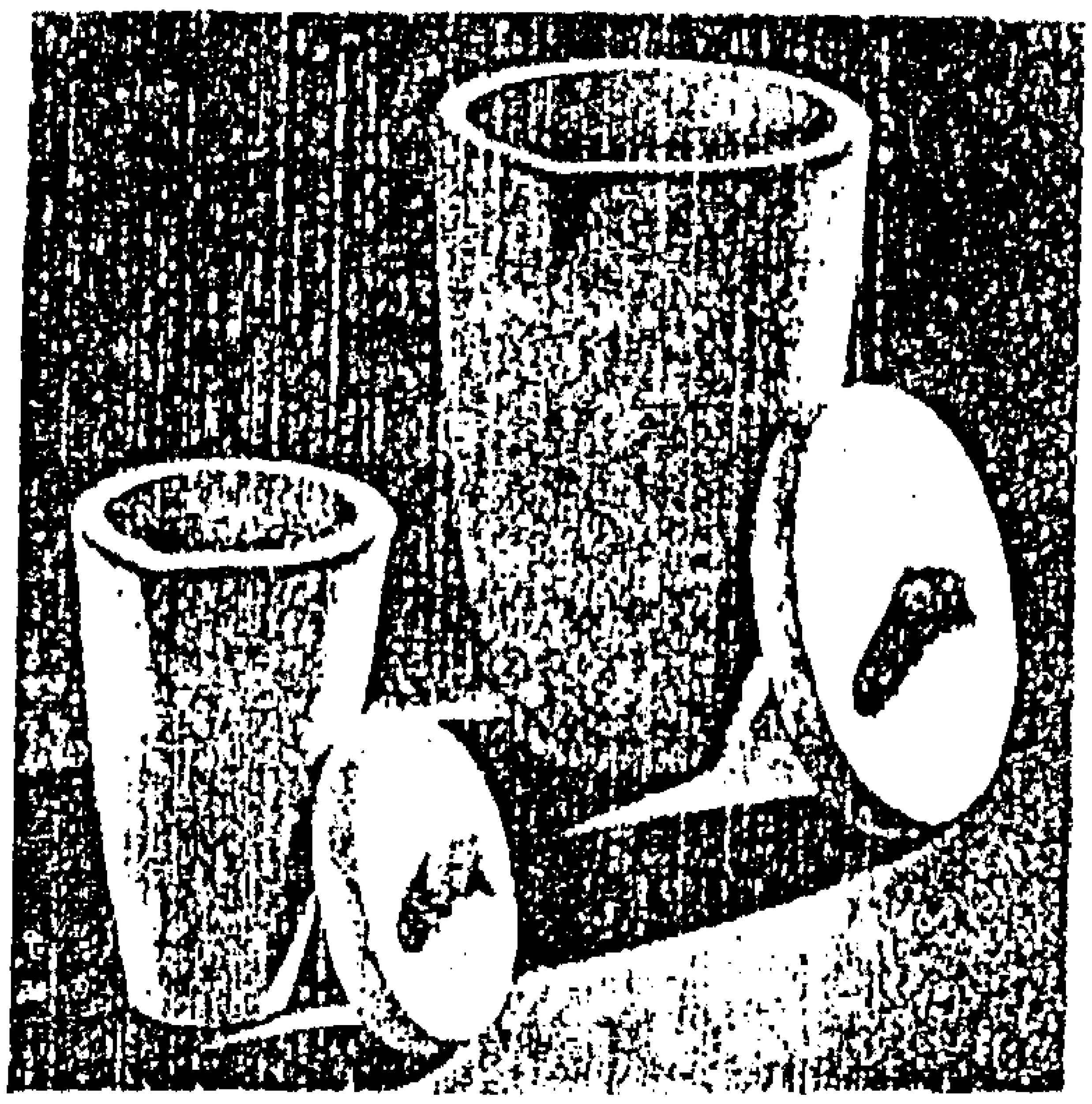
١- سرعة توصيل الحرارة من خلال سمك الجدار مما يوفر حوالى اكثر من ٢٥٪ من الوقود

٢- تمتاز بالمقاومة العالية للصدمـات الحراريـة حيـث يمكـن تعرضهـا للإختـلاف المفـاجئ فـى درجات الحرارة دون أن يحدث لها تشقق أو كسر

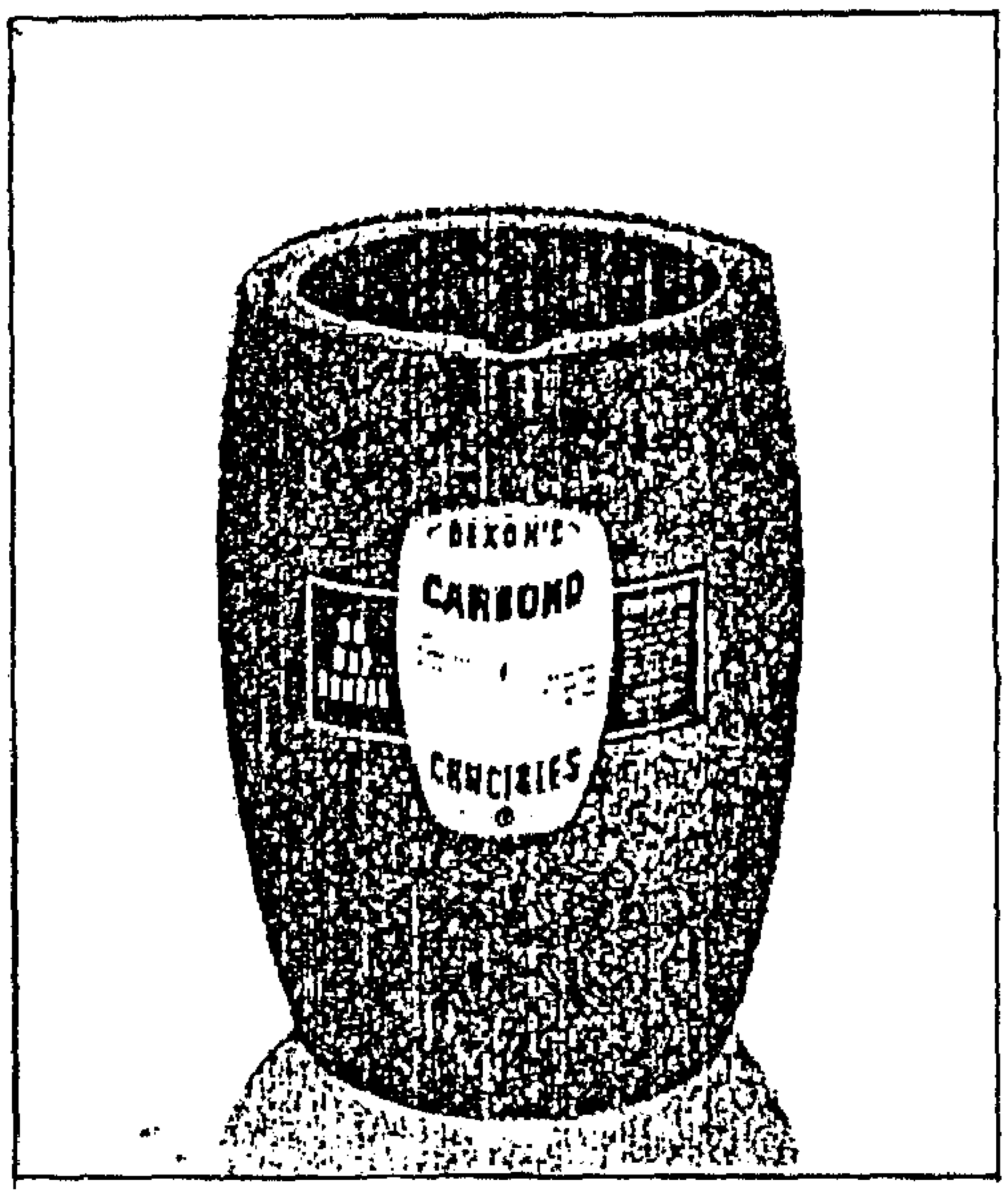
## ٥- بـواتـق الألـومينـا

بواتق الألومينا من أهم البواتق ، تكـون المـادة الأساسـية فيهـا أحـد صـور الألومينـا مـن البوكسيت أو الدياسبور أو الألومينا الملبدة ( الكوراندم الملبد ) و كذلك بواتـق مـن الألومينـا المصهورة

فى بواتق البوكسيت أو الدياسبور تستخدم كإضافة لنسبة غالبة من الألومينا والتى تصل إلى ٩٥٪ من التركيب



( أ )




(ب)

شكل رقم (٤)

يوضح ( أ ) بواتق من الطين

(ب) بوتقة من الجرافيت

فى بواتق الألومينا الملبدة يتم تلبيد الألومينا بالتسخين و ليس للإنصهار التام – و تشكل بطريقة الصب أو الكبس بعد إضافة مادة عضوية رابطة

البواتق المصنوعة من الألومينا المصهورة – يصب مصهور الألومينا فى قوالب مصنوعة من الرمل الحرارى

## و من خواص بواتق الألومينا

١- تتحمل درجات الحرارة العالية و لكنها ذات تكلفة كبيرة

٢- ذات توصيل حرارى مرتفع لذا تلائم إستخدامها لصهر المعادن النادرة التى لها درجات إنصهار مرتفعة

٣- حساسيتها للتغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة أكبر من حساسية البواتق المصنوعة من السيليكا ، و يمكن تقليل هذه الحساسية بإستخدام خليط من الألومينا و الطين الصينى بدلا من الألومينا المنصهرة وحدها ، لكن ذلك يقلل درجة حراريتها قليلا

٤- تحدث بعض التغيرات فى الشكل البلورى مصاحب ذلك تغير فى الحجم و ذلك عند درجات حرارة ١٣٥٠ ، ١٤٧٠ °م و هذا يحد من إستخدام البوتقة فى درجة أعلى من تلك الدرجة

٥- بواتق الألومينا الملبدة لها مقاومة أعلى من بواتق البورسيلان لأحماض الهيدروفلوريك والفوسفوريك كما تقاوم الخبث و الأبخرة

٦- ذات مقاومة عالية للإحتكاك

٧- لا تتأثر بالصودا الكاوية المغلية التى تسبب تآكل البورسيلان كذلك لا تتأثر بمصهور كلوريد الصوديوم أو كبريتات الصوديوم و لكن تتأثر قليلا بمركبات الرصاص وكربونات القلويات

## مراجع الجزء الأول والثانى

١- مذكرات أ.د. وجيه قابيل عن مادة ( **الحراريات** ) للفرقة الرابعة خزف ـ كلية الفنون التطبيقية ـ جامعة حلوان ١٩٧٨

2- Carnahan ,H.D., " **Oxide Ceramics** " in " **Ceramics for Advanced Technologies** " ( Move , J. E. & Wiley, W.C.ed. ), Wiley , London ,1965 .

3- Kingery , W.D., " **Introduction to Ceramics** " , Wiley , New York , 1963.

4-.Norton , F.H., " **Refractories** " McGraw - Hill , Book Co., New York , London,..1959

5- Searle , A.B.," **Refractory Materials , thier Manufacture and Uses** " Charles Griffen Co.Ltd., London , 1953

6- Singer , F & Singers , S , " **Industrial Ceramics** " Chapman & Hall , London ,1963

## مراجع الجزء الثالث و الرابع

7- **ASTM Standards** , Part 17, Published by Am. Soc. For Testing and Materials, Philadelphia, 1975.

8- Cardew ,M. , " **Pioneer Pottery** " Longman Group Limited, London ,1972

9- Hamer , F. , "**The Potter's Dictionary of Materials and Techniques** " Pitman Publishing , London , 1997

10-Norton , F.H., " **Fine Ceramics - Technology & Applications** " McGraw-Hill , Book Co , New York,London,....1970

11-Rado , P. , " **An Introduction to the Technology of Pottery** ", Pergamon Press , Oxford , London ,... 1969

12-Van Vlack , L. H. , " **Physical Ceramics for Engineers** ", Addison-Wesley Publishing Com. ,London ,Sydney,... 1974

# الفصل الثالث

# الطوب الطفلى

## المحتويات

صفحة


الطوب الطفلى ١٥٧

مقدمة ١٥٧

الخامات المستخدمة فى صناعة الطوب ١٥٨

الطمى – طمى النيل ١٥٨

التربة الزراعية – الطفلة ١٥٩

الرمل – المواد العضوية ١٦٣

طرق التشغيل المختلفة ١٦٥

طرق التشكيل اليدوى -طرق التشكيل الميكانيكى -طريقة البثق ١٦٥

طرق أخرى تعتمد على نوعية الطفلة المستخدمة ١٦٦

الطين اللين – الطريقة اللدنة -كبس نصف جاف ١٦٦

المواصفات القياسية لطوب البناء ١٦٨

أولا : الطوب العادى المصنوع يدويا ١٦٨

الخواص الطبيعية -أ-الشكل- ب- الأبعاد -جـ- إمتصاص الماء ١٦٨

الخواص الميكانيكية – مقاومة الضغط ١٦٩

ثانيا : الطوب المصنوع ميكانيكيا ١٦٩

الخواص الطبيعية – أ- الشكل ١٦٩

ب- الأبعاد -جـ- إمتصاص الماء ١٧٠

الخواص الميكانيكية – مقاومة الضغط ١٧٠

إختيار نوعية الطوب – إختيار الخامات ١٧١

تعيين ملاءمة الطفلة المختارة لصناعة الطوب المطلوب ١٧١

سلوك الطفلة فى مرحلة التجفيف ١٧٥

إختيار العمليات الصناعية ١٧٧

العمليات الصناعية التى تتبع فى صناعة طوب البناء فى طريقة التشكيل بالبثق ١٧٧

الإعداد و التحضير ١٧٧

## تابع:المحتـويـات


| | صفحة |
|---|---|
| التشكيل بالبثق – مرحلة التجفيف – الحـريـق | ١٨٠ |
| أفران هوفمان و وارين – الأفران النفقية | ١٨١ |
| **أولا : إعداد المواد الخام** | |
| **مقـدمـة** | ١٨٢ |
| **المواد الخام** | ١٨٢ |
| **أولا :طينات عالية الخواص الحرارية** | ١٨٣ |
| **ثانيا طينات متوسطة الخواص الحرارية** | ١٨٣ |
| الطينة الحديدية متوسطة الإنصهار | ١٨٣ |
| **ثالثا : الطينات سهلة الإنصهار** | ١٨٤ |
| الطينة السيليسية – الطينة الجيرية | ١٨٤ |
| **اللدونة – عمليات التخمير** | ١٨٥ |
| **التكسير الأولى و التمزيق** | ١٨٧ |
| **الطحن – الإعداد الجاف** | ١٨٨ |
| **الخلط و العجن** | ١٩٥ |
| **الإعداد اللدن** | ١٩٦ |
| **تخزين مؤقت للطفلة (تخمير)** | ١٩٧ |
| **ثانيا: عمليات التشكيل** | |
| **التشكيل بالبثق** | ٢٠٠ |
| كفاءة إنتاج ماكينات البثق | ٢٠٦ |
| **عمليات الرص والنقل بعد التشكيل إلى التجفيف و الحريق** | ٢٠٩ |
| **ثالثا: التجـفـيـف** | |
| **مقـدمـة** | ٢١٠ |
| **ميكانيكية التجفيف** | ٢١٠ |
| الإنكماش الناتج عن عملية التجفيف | ٢١٣ |

## تابع:المحتـويـات

صفحة


أسباب الإلتواء و التشقق أثناء عملية التجفيف ٢١٤

**طرق التجفيف– مجففات بدون تسخين** ٢١٤

**مجففات بالتسخين – المجففات التى تلائم طوب البناء** ٢١٧

المجففات المباشرة – الخواص الهامة للمجففات المباشرة ٢١٧

**١– المجففات المتقطعة (الدفعات)– ٢– المجففات المستمرة** ٢١٨

(١) مجففات الدفعات – مجفف الأرضية المسخنة ٢١٨

مميزات تلك المجففات ٢١٨

مجففات الغرف أو الممرات ٢١٩

(٢) المجففات المستمرة – المجفف النفقى ٢٢٣

**بعض العوامل الهامة التى تتميز بها المجففات الصناعية** ٢٢٣

١– الحيز –٢– التداول –٣– المعالجة و التحكم ٢٢٣

٤– الصيانة –٥– كفاءة الوقود –٦– كفاءة الزمن ٢٢٤

٧–المعدل الأقصى للتجفيف الآمن و درجة حرارته القصوى ٢٢٤

**كفاءة المجفف** ٢٢٤

(١) الوقود ٢٢٤

(٢) الزمن – (٣)التكلفة ٢٢٥

**رابعا: الحـريـق**

مقـدمـة ٢٢٧

**أولا : التخلص من المـاء** ٢٢٧

أ– التخلص من المـاء المتحد ميكانيكى ٢٢٧

ب– التخلص من المـاء المتحد كيميائى ٢٢٨

**ثانيا: الأكسدة** ٢٢٨

**ثالثا : إعادة التبلور** ٢٢٨

**رابعا : عملية التزجج** ٢٢٨

## تابع:المحتويات


صفحة

مرحلة التبريد ٢٢٩

الأفران ٢٣١

**أ- أفران حريق مباشر -ب- أفران حريق غير مباشر** ٢٣١

مميزات الأفران ذات الحريق المباشر ٢٣١

**الأفران المستمرة** ٢٣٣

**أفران هوفمان** ٢٣٤

تخطيط أفران هوفمان الدائرية ٢٣٤

بعض التطور فى أفران هوفمان المبكرة ٢٣٥

دورة الحريق فى فرن هوفمان ٢٣٦

الأبعاد الشائعة لفرن هوفمان الدائرى ٢٤٠

**الأفران النفقية** ٢٤٠

مقارنة بين الفرن النفقى و الدورى ٢٤١

بعض العيوب فى الأفران النفقية ٢٤١

التخطيط العام للأفران النفقية ٢٤٥

دورة الحريق فى الفرن النفقى ٢٤٥

**أجهزة الإشتعال- الوقود و الطاقة** ٢٤٩

**وقود الأفران** ٢٥١

وقود الديزل ووقود جازاويل ٢٥١

الكفاءة الحرارية للوقود-الكفاءة الحرارية للأفران ٢٥٢

الهواء اللازم للحريق ٢٥٢

الإستفادة من الحرارة المفقفودة مع غازات العادم ٢٥٣

**عمليات الرص و النقل بعد مرحلتى التجفيف و الحريق** ٢٥٣

**ملاحظات هامة فى مراحل تشغيل الطوب فى طريقة التشكيل بالبثق** ٢٥٦

## تابع:المحتـويـات

صفحة


| | |
|---|---|
| **تعيين خصائص المنتج بعد الحريق** | ٢٥٨ |
| تعيين الإنكماش الطولى | ٢٥٨ |
| **الإختبارات الطبيعية و الكيميائية التى تجرى على جميع أنواع الطوب** | ٢٥٩ |
| أولا : طرق إختيار العينات – ثانيا : قياس الأبعاد | ٢٥٩ |
| ثالثا : قياس إمتصاص المـاء و حساب معامل التشبع | ٢٦١ |
| رابعا:قياس الإنكماش الناتج عن الجفاف-خامسا :قياس المقاومة للضغط | ٢٦٢ |
| سادسا: التزهير – سابعا : التحليل الكيميائى | ٢٦٣ |
| **تطوير مصانع الطوب الأحمر ( القمائن )** | ٢٦٤ |
| مميزات الطوب الطفلى | ٢٦٤ |
| مقارنات للعمالة و تكاليف الإنتاج فى كل من الطرق اليدوية و التشكيل بالبثق | ٢٦٦ |
| **المراجع العربية و الأجنبية** | ٢٧٠ |

# الجزء الأول

## مقدمة و تعريف

- الخامات المستخدمة
- طرق التشغيل المختلفة
- المواصفات القياسية

# الطوب الطفلى

## مقدمــــة

تأخذ صناعة طوب البناء اهتماماً كبيراً من الدولة لارتباطها ارتباطاً وثيقاً ببعض القضايا الهامة مثل الإحتياج إلى الإنتاج الكبير الذى يكفى التوسعات العمرانية وبناء المجتمعات الجديدة، كما ترتبط أيضا بمشكلة إنتشرت فى مصر بعد انخفاض مستوى طمى النيل الذى كان يعتمد عليه اعتماداً كلياً فى صناعة طوب البناء فى مصر وبإزدياد الإحتياج أيضاً أتجه إلى تجريف التربة الزراعية لإستخدامها فى صناعة الطوب الأحمر التقليدى بدلاً من إستخدام طمى النيل مما يؤثر على إنخفاض نسبة الأرض المنزرعة ويؤثر بالتالى على الإنتاجية الزراعية، بجانب جهود مضنية لإستزراع وإستصلاح الأراضى الصحراوية فى الوقت الذى تستخدم فيه التربة الزراعية لصناعة طوب البناء.

لذا تقوم دراسات علمية لإستكشاف وإختيار بدائل طمى النيل من الطفلات المتواجدة بوفرة والملائمة لصناعة طوب البناء والتى تقوم بنفس الغرض فى الإستخدام وإعطاء المواصفات المطلوبة وتحل بذلك محل طمى النيل والتربة الزراعية فى صناعة طوب البناء.

وتتواجد تلك الطفلات بكثرة فى أماكن عديدة متفرقة فى مصر ووادى النيل بين قنا وأسوان وشرق القاهرة والمعادى والجيزة وبنى سويف وغرب الإسكندرية والبحر الأحمر وغيرها. ويعرف الطوب الناتج من تلك الطفلات (بالطوب الطفلى) وهو إحد نوعيات الطوب المستخدم فى أغراض البناء يعتمد فى تركيبه على الطفل Clay بدلا من الاعتماد على الطمى Silt المستخدم فى صناعة الطوب الأحمر التقليدى.

## الخامات المستخدمة فى صناعة الطوب

كانت الخامة الأساسية المستخدمة فى صناعة طوب البناء (فى مصر) هى (طمى النيل) فقد كان يعتمد عليه فى صناعة طوب البناء (الأحمر)، وبعد بناء السد العالى وإنخفاض الطمى إتجهت الدراسات إلى البحث عن بدائل طمى النيل لصناعة طوب البناء وذلك بإستخدام بعض الطفلات الجبلية.

ومن الخامات الرئيسية المستخدمة لصناعة هذا الطوب هى (الطفلة Clay) قد تصل نسبتها إلى ١٠٠% من التركيب إذا توافرت الخواص المطلوبة عن إستخدامها.

ولتحسين بعض المواصفات أو خصائص التشكيل والإنتاج يمكن إضافة نوعين من الطفلة أو إضافة سيليكا أو تبن أو مواد عضوية....الخ وتصل نسب الإضافات إلى حوالى ٢٠% من التركيب.

وعامة الطفلة المستخدمة فى صناعة الطوب لدنة تحتوى على نسبة من أكسيد الحديد، وتضاف السيليكا (الرمل) لتقليل التعرض للشرخ والإلتواء أثناء التجفيف والحريق، ويضاف التبن أو قش الأرز أو المواد العضوية للعمل على زيادة نسبة المسامية فى الجسم والتى تقلل من الكثافة وبالتالى من وزن المنتج.

ومدى إستخدام تلك المواد بالنسبة المئوية التالية:

| | |
|---|---|
| الطفلة | ٨٠ – ١٠٠% |
| السيليكا (الرمل) | صفر – ٢٠ % |
| التبن أو المواد العضوية | صفر – ٢٠ % |

## الطمى

الطمى أو الغرين ناتج عن ترسيب حديث للمواد المعلقة فى مياه فيضانات الأنهار على جانبيها وعند مصابتها، وللطمى لدونة تمكن من تشكيله، ويعطى بعد تسويته ألواناً قاتمة متعددة، وأغلب استعمالات الطمى فى صناعة طوب البناء وطوب الواجهات، ويضاف كمادة مخشنة فى بعض المشغولات الخزفية.

## طمى النيل

ذو لون بنى فاتح، طينى الملمس، لدن يحتوى على كثير من حبيبات ودقائق الكوارتز ذات أقطار تتراوح بين أقل من ٠,٠١ – ٠,٥٠ مم كما يحتوى على معادن الكاولينيت والمونتموريللونيت والهالوسيت ومعادن الفلسبار والميكا وغيرها ونسبة من أكسيد الحديديك تبلغ حوالى ١٢,٧% وكذلك معادن أخرى يشملها الطمى نتيجة عوامل التعرية للصخور بتأثير الماء.

## التربة الزراعية

هى تكوين غروى طينى ترجع غرويته إلى ما تحتويه من قدر من الدقائق الطينية ومستحلبات الدوبال العضوى التى تغشو حبات الرمال والحجر الجيرى والمعادن الأخرى.

وتتكون التربة الزراعية من سيليكات الألومنيوم المائية وأكاسيد الحديد المائية وألومنيا المائية كمواد غروية.

وتتكون مستحلبات الدوبال العضوية من فعل البكتريا فى تحلل بقايا النبات والحيوان.

ويعمل الغشاء الغروى المحيط بحبات التربة على إكسابها اللازبية وقابلية التشكيل.

وقد تتكون التربة الزراعية من نواتج تفتيت الصخر المحلى وتحلله بفعل العوامل الجوية والحيوان وجذور النبات أو أن تكون منقولة من أماكن أخرى بفعل الماء عادة (كما فى التربة الزراعية المصرية).

توجد بعض الأنواع ذات جسم أسود ثقيل دقيق مندمج الجسميات، بينما أنواع أخرى صفراء خشنة غير متماسكة وترتفع نسبة الطين فى الأنواع السوداء الثقيلة بينما تزداد نسبة الرمل والمواد الجيرية بين مكونات الأنواع الأخرى.

وتحتوى التربة الزراعية المجاورة للنهر على نسبة أكبر من الشوائب والأملاح عن التربة البعيدة عنه، وتصلح بعض أنواع التربة لصناعة الطوب العادى التقليدى وأنواع أخرى تلائم صناعة الأوانى الفخارية.

## الطفلة (Clay)

تعرف (الطفلة) بأنها مادة أرضية تحتوى على نسبة عالية من الألومنيا والسيليكا كما تحتوى ماء إرتباط وتظهر فيها خاصية اللدونة وتتصلد بالتسخين، وتوجد منها أنواع مختلفة.

والتركيب الأساسى للطفلة (سيليكات الألومنيوم المائية) ($Al_2O_3.\ 2SiO_2.\ 2H_2O$) لإعطاء تركيب من ($39.\ 5Al_2O_3.46.5SiO_2.14H_2O$) وينصهر المعدن النقى (الكاولينيت) عند درجة ١٧٦٥°م وتنخفض تلك الدرجة فى وجود الشوائب.

وتنتج الطفلة فى الطبيعة نتيجة تأثير الحرارة والماء على صخور الفلسبار Feldspar المتكونة نتيجة عوامل التجوية وتأثير الحرارة والضغط على الصخور النارية من جرانيت وبازلت (شكل رقم ١) وإتحاد جزيئات السيليكا المتواجدة فى الصخور النارية مع المعادن المختلفة مكونة.

- فلسبار بوتاسيومى (أورثوكليز Orthoclase) $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$
- فلسبار صوديومى (ألبيت Albite) $Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$
- فلسبار كالسيومى (أنورثيت Anorthite) $CaO.Al_2O_3.2SiO_2$

ويتحول الفلسبار إلى كاولينيت بفعل تأثير الأمطار وعوامل التجوية وينقل (بفعل الماء) على شكل رواسب من الطفل الأبيض.

$$K_2O.\ Al_2O_3.\ 6SiO_2 + CO_2 + 2H_2O \longrightarrow$$
$$Al_2O_3.\ 2SiO_2.\ 2H_2O + 4SiO_2 + K_2CO_3$$

وتراكم معظم الرواسب على هيئة مواد مفتتة غير متماسكة ثم تتعرض بعد ذلك لعوامل تجعلها أكثر إندماجاً مثل الضغط والتجفيف والتبلور.

وتتواجد الطفلة فى الطبيعة على هيئة طبقة متفاوتة السمك تحتوى على نسب مختلفة من سيليكات الألومنيوم (٢٧-٣٠ ألومنيا، ٧,٥٠ – ٣,٩٥% حديد).

تستخرج (فى مصر) من مناطق متفرقة من وادى النيل بين قنا وأسوان وشرق القاهرة والمعادى والجيزة وبنى سويف وغرب الإسكندرية والبحر الأحمر.

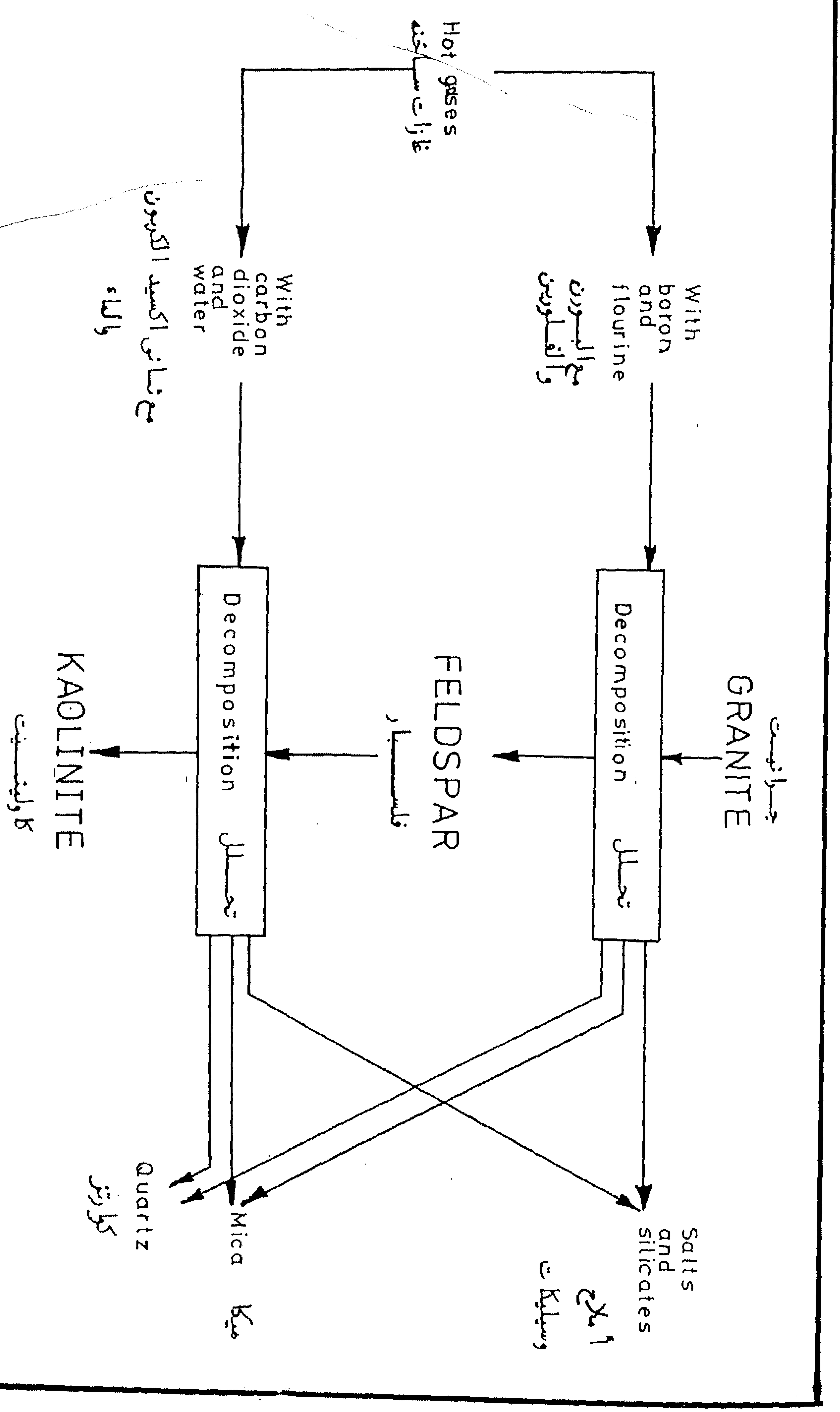
والخريطة الموضحة فى شكل رقم (٢) تبين أماكن الطفلة فى جمهورية مصر العربية وتستخدم الطفلة فى بعض الصناعات مثل:

- صناعة الأسمنت والحراريات والأنابيب والمواسير الفخارية والأوانى الفخارية والطوب الحرارى.
- تستخدم كمادة مالئة فى صناعة البويات والصابون والورق.
- عمليات حفر الآبار.

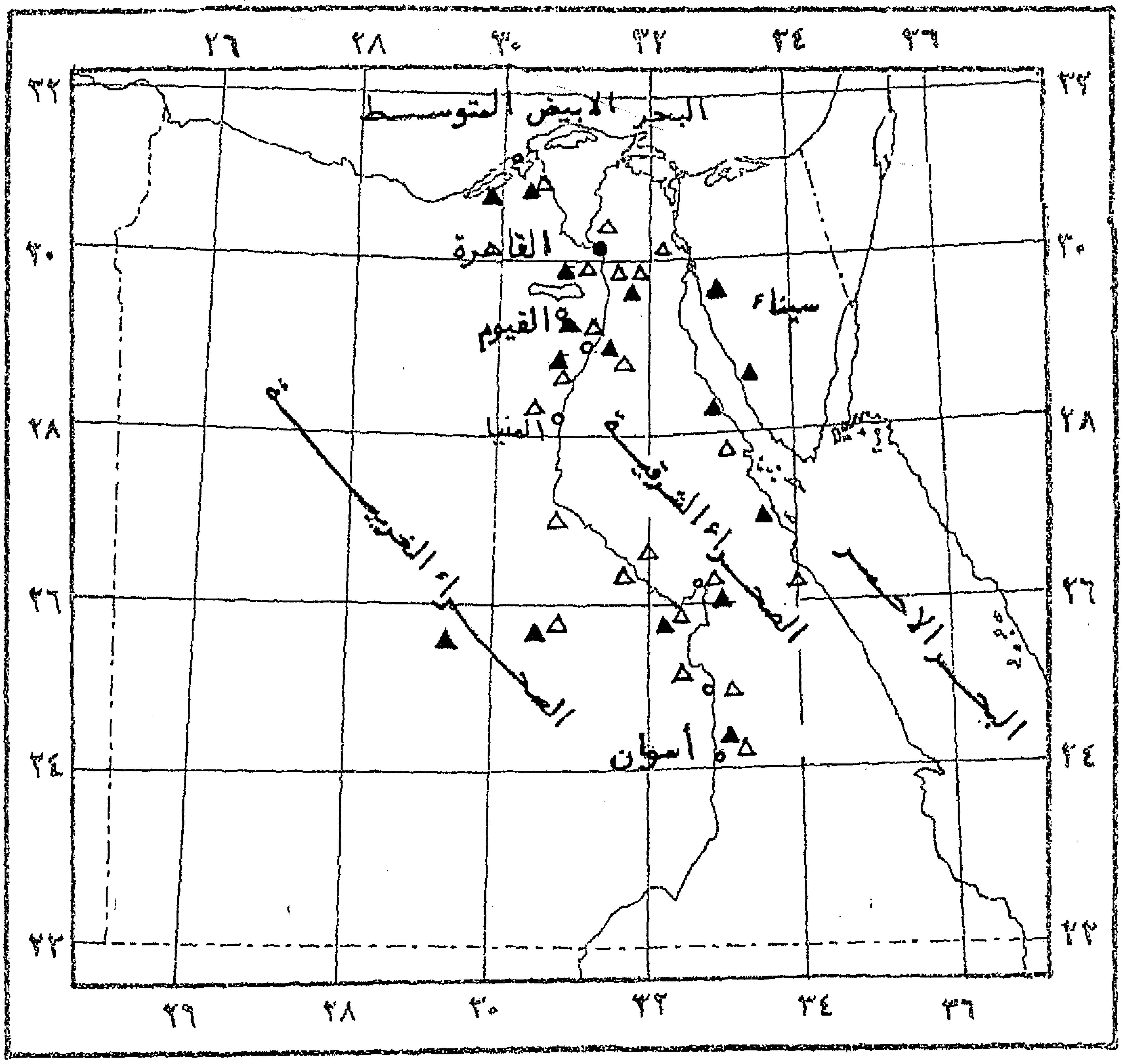
وتحتوى معظم الطفلات على بعض الشوائب من الكوارتز والميكا والفلسبار والحديد أو الفلزات الأخرى وكذلك على مواد عضوية مثل اللجنيت أو الدوبال.

والطفلات المنخفضة الجودة المحتوية على نسبة منخفضة من الألومينا ونسبة كبيرة من أكاسيد الحديد والشوائب الأخرى تلائم صناعة المنتجات الطينية الثقيلة (Heavy Clay Wares) ومنها طوب البناء وتشمل مدى كبير من التركيبات المسموح بها، وعامة تتكون من:

حوالى ٦٠% سيليكا ٢٠% ألومنيا ٢٠% شوائب الحديد والكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكبريتات.




شكل رقم (١) : التحولات التى تحدث لصخور الجرانيت لتكوين معادن من الطفلة و الفلسبار و الكوارتز




شكل رقم (٢) : خريطة جمهورية مصر العربية موضح عليها بعض أماكن المواد الخام المستخدمة فى صناعة الطوب الطفلى - ( ▲ ) طفـلة ( △ ) رمـل

## الرمل Sand

الرمل يتكون أساساً من السيليكا $SiO_2$، وهو عبارة عن صخر متفكك غير متماسك يتراوح قطر حبيباته ما بين (٢,٥مم — ٠,٠١مم) ويقسم إلى:

**١- الرمال الخشنة**

تتراوح قطر حبيباتها بين (٢,٥٠مم — ٠,٧٥مم).

**٢- الرمال المتوسطة**

تتراوح قطر حبيباتها بين (٠,٧٥ إلى ٠,١٠مم).

**٣- الرمال الناعمة أو الدقيقة**

هى ما يتراوح قطر حبيباتها بين (٠,١٠-٠,٠١مم)

يتكون الرمل عادة من السيليكا المختلطة بنسب ضئيلة من حبيبات معادن أخرى مثل الفلسبار أو الميكا نتيجة تفتت الصخور الجراتينية دون أن تتحلل تلك المعادن.

وقد تكتسب الرمال ألوان حمراء أو صفراء لوجود أكاسيد الحديد على هيئة أغشية رقيقة حول الحبيبات.

وهناك من الرمال ما يتكون من فتات الأحجار الجيرية والمحارات البحرية الصغيرة، من أمثلة ذلك رمال الكثبان الممتدة على شاطئ البحر الأبيض غرب الإسكندرية. وتوجد الرمال على هيئة طبقات رسوبية متفاوتة السمك ومختلفة المواصفات، وتوجد على مساحات كبيرة جداً فى جميع الصحارى المصرية.

تستخرج من أماكن متفرقة بوادى النيل والصحراء الشرقية والغربية وسيناء والساحل الشمالى للبحر الأبيض المتوسط (الموضحة فى الخريطة شكل رقم (٢). والرمال البيضاء تحتوى على ٩٥-٩٨,٨% سيليكا خالية من أكاسيد الحديد والمواد الطفلية. وتضاف الرمال مع الطفلة لخفض اللدونة (فى صناعة طوب البناء) ويفضل إستعمال الرمال المحتوية على رقائق الميكا عن المحتوية على حبيبات الفلسبار.. إذ تنصهر رقائق الميكا أسرع من حبيبات الفلسبار.

## المواد العضوية

تحتوى أغلب الطفلات على بعض المواد العضوية على هيئة دقائق اللجنيت lignite وبوجود تلك المواد العضوية والبكتيريا فى الطفلة تعمل على رفع غرويتها ولدونتها كما تكسب الجسم قوى ميكانيكية أعلى.

والمواد العضوية هى مواد كربونية لا تنصهر بالتسخين ولكنها تتأكسد أى تحرق وتصبح غاز وقد وجد ببعض الدراسات أن أكسدة تلك المواد تتم فى مدى بين ٢٠٠-٧٠٠°م. ويمكن أن تضاف بعض المواد العضوية مثل القش وسرس الأرز التى يتخلف عن إستخدام بعض أنواعها مواد مساعدة على الصهر أو السيليكا الدقيقة وبعض العناصر كالبوتاسيوم أو الكالسيوم مما يؤثر على بعض الخواص الطبيعية للطفلة وعلى درجات حرارة حريق المنتج.

## طرق التشغيل المختلفة

كانت العمليات الصناعية المستخدمة قديماً لصناعة الطوب هى الطرق اليدوية ويتم فيها خلط كميات متساوية من الطمى والتبن والمواد العضوية وخلطها فى حفرة، بإستخدام الأيدى والأرجل وكانت تستخدم الدواب لهذا الغرض أيضا، إلى أن يحصل على طين متجانس الخلط يتم صناعته يدوياً فى قوالب خشبية وتقلب وتترك لتجف بحرارة الشمس أو أن تحرق فى قماش بإستخدام الخشب أو الوقود.

ثم تطور ذلك فى عمليات صناعية مشابهة مع التغيير فى التركيب بتقليل المواد العضوية وتحضير التركيب أكثر تيبسا Stiffer.

وتلى ذلك تطور بإستخدام الماكينات فى إعداد وتصنيع أشكال أكثر إنتظاماً بإستخدام طمى الأنهار أو الرسوبيات بطريقة طين لين Soft-mud أو بثق طين لين Soft-extruded، والحريق فى أفران أكثر تحكماً كما فى أفران هوفمان (أنظر الجزء الخاص بالحريق).

## طرق التشكيل اليدوى

يعد صندوق التشكيل من الخشب أو المعدن (ويفضل الأخير) ويبطن القالب إما بالرمل الناعم أو بالطين الجاف أو يبلل بالماء وذلك ليسهل عملية إخراج قالب الطوب بعد تشكيلة والذى يقلب على أرض مغطاه بطين جاف أو رمل ناعم، وتكون نسبة الماء المضاف فى تلك الطريقة حوالى ٣٠-٣٥% ويعرف الطوب الناتج بهذه الطريقة (طوب ضرب أرض) عندما تقلب القوالب على الأرض أو (بطوب ضرب سفره) إذا تم تفريغ القوالب على مناضد أو ألواح خشبية.

## طرق التشكيل الميكانيكى

### طريقة البثق

يعرف الطوب الناتج من تلك الطريقة (بطوب قطع سلك Wire-cut) تستخدم فيه ماكينة التشكيل بالبثق Extruder ويتم القطع بالسلك لعمل وحدات الطوب.

يمكن إستخدام طفلة لدنة أو غير لدنة تتدرج فيها نسب إضافة الماء من ١٨-٢٥% ولا تتطلب تلك الطريقة عمالة كبيرة كما فى الطرق اليدوية حيث يتم التشكيل الميكانيكى وتحتاج فقط إلى متابعة أو عمليات النقل.

كما يمكن أن تتم عملية إعداد الخامات للتشكيل بماكينات تكسير وطحن وعجن كذلك فإنه بعد التشكيل يمكن أن يمر المنتج بطريقة آلية أو نصف آلية على كل من مراحل التجفيف والحريق.

ويتم خلال عملية التشكيل عملية تفريغ الهواء De-airing (والذى يلزم خاصة الطفلات غير اللدنة Stiff، وتتم خلال عملية تمزيق Shreding للطين المار خلال غرفة تفريغ الهواء للتخلص من أغلب الهواء الموجود بها قبل أن تمر مدمجة من خلال فوهة الماكينة التى تشكل عمود ذو مقطع بأبعاد سطح الطوبة قبل التجفيف ثم تقطع بالسمك المطلوب ويراعى نسبة الإنكماش بعد التجفيف والحريق ويكون المنتج الناتج بتلك الطريقة أكثر كثافة وتحملا للضغط وبدرجة إمتصاص للماء أقل من المشكل بالطريقة اليدوية.

وتتميز طريقة التشكيل بالبثق بكفاءة إنتاج عالية والحصول على نوعية جيدة من الطوب فى وحدات منتظمة الشكل والمقطع كما يمكن إنتاج طوب مفرغ بنفس الماكينة.

كذلك تعطى تلك الطريقة مرونة كبيرة فى إمكانية تغير شكل وحجم المنتج الناتج وذلك بالتحكم فى كل من الضبعة Die أو السلك القاطع لتغير سمك الطوب أو إعطاء تأثيرات على السطح أو تغيير الملمس وذلك بمعاملة خاصة لعمود الطين المشكل وذلك إما بعمل ملمس خشن أو خطوط غائرة فى سطح الطوب أو جوانبه بإستخدام الضبعة أو فرش دوارة أو أسطوانات ذات ملمس، ويتم ذلك عندما يكون العمود الناتج لين نوعا ويمكن إضافة تأثيرات للسطح بإستخدام الرمل الملون أو الصبغات أو البطانات Engobes أو الطلاءات الزجاجية Glazes.

وعامة تلك الطريقة يمكن إستخدامها لإنتاج الطوب العادى منخفض درجة التحمل low-strength، كما تستخدم لطوب الواجهات عالى درجة التحمل High - shrength.

**وتوجد طرق أخرى لتشكيل الطوب تعتمد على نوعية الطفلة المستخدمة منها ما يلى:-**

## الطين اللين Soft-mud

تعتبر تلك الطريقة المرحلة الأولى لميكنة صناعة الطوب بإستخدام الماكينة فى الإنتاج لتحل محل عامل التشكيل اليدوى، تتشابه طرق إستخراج الخامات والتجفيف والحريق مع الطريقة اليدوية وتستخدم الماكينة فى التشكيل الآلى، تلائم إنتاج طوب من الطينات قليلة اللدونة أو الرملية والتى تلائم التشكيل بالبثق، وتستخدم تلك الطريقة فى صناعة طوب الدعامات أو طوب الواجهات.

## الطريقة اللدنة Stiff plastic

عمليات الطريقة اللدنة تعتبر نموذجاً من نهاية القرن ١٩ قرينة الإختراعات الميكانيكية، ويلائم أعمال الطوب الخاصة بمناجم الفحم حيث المواد الخام هى طينات صفحية Shales ويعتبر المنتج منخفض التكلفة بدرجة تلائم بناء التركيبات تحت الأرض.

وتستخدم تلك الطريقة أيضاً لإنتاج طوب الواجهات، وطوب الإنشاءات الهندسية Engineering Bricks بإستخدام الطينات الصفحية المستخرجة من على سطح الأرض. وتلك الطريقة تلائم الطينات الصفحية Shales الصلدة نسبياً والتى تطحن فى طاحونة الرحى Pan mill، لتمر من خلال منخل ٠,٠٩٤٩ فتحة فى البوصة تبعاً للمناخل القياسية البريطانية، ثم ينقل الخام المطحون إلى خلاط مع إضافة نسبة الماء ثم تمر الطينة اللدنة فى ماكينة بثق رأسية لتشكل الطينة فى قوالب موضوعة على أقراص دائرية ثم يتم ضغط ميكانيكى لينتج شكل منتظم للطوبة.

## كبس نصف جاف Semi-dry press

فى الطريقة السابقة Stiff plastic تستخدم كمية قليلة من الماء لتسمح بتشكيل الطوب إلى صلادة كافية تمكن من رصه فى الأفران ولكن بها نسبة ماء ينبغى أن تزال قبل البدء فى الحريق.

أما فى طريقة الكبس نصف الجاف فيستغنى عن العملية المكلفة (فى إضافة الماء فى مرحلة والتخلص منه فى مرحلة أخرى).

وعامة تستخدم الطفلة فى تلك الطريقة بنسبة الرطوبة الطبيعية فيها أو بإضافة نسبة قليلة من الماء فى طاحونة الرحى لبعض الطينات الصفحية الصلدة لتعطى كفاءة فى الضغط.

## المواصفات القياسية لطوب البناء

### أولاً: الطوب العادى المصنوع يدوياً

الطوب العادى المحروق المصنوع يدوياً من الطين العادى (الطمى) أو الطفلى أو المعروف تجارياً بالطوب الأحمر أو الطوب البلدى – ويستخدم فى أغراض البناء العادية التى لا تتطلب أهمية كبرى لمظهر الطوبة الخارجى، وتبعا للمواصفات القياسية المصرية رقم (م.ق ١٩٦٠/٤٦) يقسم الطوب العادى المصنوع يدوياً إلى رتبتين رتبة (أ) ورتبة (ب).

### الخواص الطبيعية

#### أ- الشكل

يجب أن يكون شكل الطوب ذا شكل مناسب منتظم وتكون زواياه وجوانبه معتدلة وإذا وجدت تشرخات سطحية يجب إلا تسبب فى ضعف خواص الطوبة.

- يجب أن يكون مقطع الطوبة متجانساً تام الاحتراق خاليا من العقد الجيرية.
- يجب ألا تقل نسبة الطوب السليم الخالى من التشققات والعيوب الظاهرة عن ٩٥% من الكمية الكلية المورده.

#### ب- الأبعاد

تكون ٢٥×١٢×٧سم أو ٢٣×١١×٦سم أو أية مقاسات يتفق فيها بين المشترى والبائع.

- يجب إلا يتعدى الإختلاف فى الأبعاد زيادة أو نقصاً ما مقداره ٥مم فى الطول و ٣ مم فى العرض و ٢ مم فى السمك.

#### جـ- إمتصاص الماء

يجب ألا يتعدى مقدار إمتصاص الطوب للماء فى مدة ٢٤ ساعة عما هو مبين بالجدول رقم (١).

**الجدول رقم (١) مقدار إمتصاص الماء**

| رتبة الطوب | أكبر نسبة لامتصاص الماء فى ٢٤ ساعة | |
|---|---|---|
| | متوسط ٥ طوبات | الطوبة الواحدة |
| أ | ٢٥% بالوزن | ٢٧% بالوزن |
| ب | ٣٠% بالوزن | ٣٢% بالوزن |

## الخواص الميكانيكية

### مقاومة الضغط

- يجب ألا تقل مقاومة الطوب للضغط عما هو مبين بالجدول رقم (٢)

**الجدول رقم (٢) مقاومة الطوب للضغط**

| رتبة الطوب | أقل مقاومة للضغط (إلى الكسر) كجم/سم٢ | |
|---|---|---|
| | متوسط ٥ طوبات | الطوبة الواحدة |
| أ | ٥٥ | ٤٥ |
| ب | ٣٥ | ٣٠ |

## ثانياً: الطوب المصنوع ميكانيكياً

طوب المبانى المحروق المصنوع ميكانيكياً من الطين العادى (الطمى) أو الطفل المعروف تجارياً بطوب قطع السلك – ويستخدم هذا الطوب فى أغراض البناء التى تتطلب أهمية كبرى لمظهر الطوبة الخارجى.

وتبعاً للمواصفات القياسية المصرية رقم (م.ق ٤٥/١٩٦٠) يقسم الطوب المصنوع ميكانيكيا إلى رتبتين رتبه (أ) ورتبة (ب).

## الخواص الطبيعية

### أ- الشكل

- يجب أن يكون الطوب ذا شكل منتظم وتكون زواياه وجوانبه مستقيمة وسليمة، يجب ألا يكون فى أسطح الطوب تشرخات تؤثر على خواصه الطبيعية.
- يجب أن يكون مقطع الطوب متجانساً تام الحريق خالى من العقد الجيرية.
- يجب ألا تقل نسبة الطوب السليم الخالى من التشققات والعيوب الظاهرة عن ٩٥٪ من الكمية الموردە.

## ب- الأبعاد

- يجب أن تكون أبعاد الطوب كالآتى:

٢٥×١٢×٦سم و ٣٣×١١×٥,٥ سم أو أية مقاسات يتفق فيها بين المشترى والبائع.

- يجب ألا يتعدى الإختلاف فى الأبعاد زيادة أو نقصاً ما مقداره ٥مم فى الطول و ٣ مم فى العرض و ٢ مم فى السمك.

## جـ- إمتصاص الماء

يجب ألا يتعدى مقدار إمتصاص الطوب للماء بالغليان فى مدة خمسة ساعات ما هو مبين بالجدول رقم (٣)

**جدول رقم (٣) مقدار إمتصاص الماء**

| رتبة الطوب | أكبر نسبة لامتصاص الماء بالغليان ٥ ساعات | |
|---|---|---|
| | متوسط ٥ طوبات | الطوبة الواحدة |
| أ | ١٨% بالوزن | ٢٢% بالوزن |
| ب | ٢٠% بالوزن | ٢٥% بالوزن |

## الخواص الميكانيكية

### مقاومة الضغط

- يجب إلا تقل مقاومة الطوب للضغط عما هو مبين بالجدول رقم (٤)

**جدول رقم (٤) مقاومة الطوب للضغط**

| رتبة الطوب | أقل مقاومة للضغط (إلى الكسر) كجم/سم$^2$ | |
|---|---|---|
| | متوسط ٥ طوبات | الطوبة الواحدة |
| أ | ٢٥٠ | ٢٠٠ |
| ب | ١٥٠ | ١٢٠ |

# الجزء الثانى

# إختيار نوعية

# الطوب و الخامات

# و العمليات الصناعية

## إختيار نوعية الطوب

يتوقف إختيار نوعية الطوب المطلوب إنتاجه على إحتياج السوق المستهلكة، وكذلك على مدى تواجد وتوافر الخامة المستخدمة فى التصنيع، فقد تحتاج السوق المستهلكة إلى (الطوب الأحمر المصنوع من طمى النيل) ولكن لعدم توافر الخامة والاتجاه إلى الأراضى الزراعية وتجريفها، لذا تختار خامة أخرى متوافرة مثل الطفلة المتواجدة فى الأماكن الصحراوية وتصنع منها نوعية مشابهة للطوب الأحمر وتفوق عليها فى مواصفاتها وجودتها.

## إختيار الخامات

ترتبط مواصفات المنتج الناتج إرتباطا وثيقاً بمواصفات وخصائص المواد الخام المستخدمة فى تصنيعه، لذا يجب عند إختيار الخامات معرفة مدى قابليتها فى إعطاء المواصفات المطلوبة كما يراعى كل من حجم المواد الخام المختارة ومدى تواجدها وتوافرها فى الطبيعة، وكذلك مدى تجانس تركيبها وذلك باستخراج بعض العينات من أماكن مختلفة من المحجر وإختبار مواصفاتها فى إعطاء طوب جيد لمعرفة مدى صلاحيتها لذلك.

وفى صناعة الطوب تستخدم الخامات منخفضة درجة النقاء وذلك لاحتوائها على شوائب تعمل كمواد مساعدة على الصهر لتحرق فى درجات حرارة منخفضة نسبياً.

ويمكن إستخدام الطفلة بمفردها إذا إحتوت على تركيب يعطى المواصفات المطلوبة، أو أن تخلط بأنواع أخرى من الطفلات لإعطاء مواصفات خاصة وذلك كما فى إستخدام (المارل) وهو طينة طبيعية تحتوى على نسبة عالية تصل إلى ٥٠% من كربونات الكالسيوم، أو أن يضاف رمل لتقليل درجة اللدونة أو نسبة من معادن المونتموريللونيت لزيادة درجة اللدونة، ومن مميزات استخدام أكثر من نوع من الطفلة أن تتنوع تأثير المواصفات الطبيعية للطفلة منفردة، وتشمل بعض الرسوبيات نوعين من الطفلة أو طبقتين أحدهما طفلة والأخرى رمل أو طفلة سيليسية أو مارل لذا يمكن خلطها معا عند إستخراجها بشكل منتظم يمكن من إستخدامها مباشرة فى إنتاج الطوب والحصول على الخصائص المطلوبة.

## تعيين ملاءمة الطفلة المختارة لصناعة الطوب المطلوب

يجب تحديد مواصفات الطفلة المختارة لصناعة الطوب ومدى ملاءمتها لذلك، وهذا بأجراء سلسلة من الإختبارات لتعيين المواصفات الطبيعة للطفلة من درجة لدونة ونسبة الشوائب والحجم الحبيبى لدقائق الطفلة ونسبة الإنكماش بعد مرحلة التجفيف وبعد الحريق..الخ وذلك لتحديد

العمليات الصناعية المطلوبة وتحديد نسب الطفلة ومدى الإحتياج إلى إضافات تعمل على تحسين الخواص ومعرفة الملاحظات الواجب مراعاها أثناء عمليات التصنيع المختلفة ومن أمثلة ذلك.

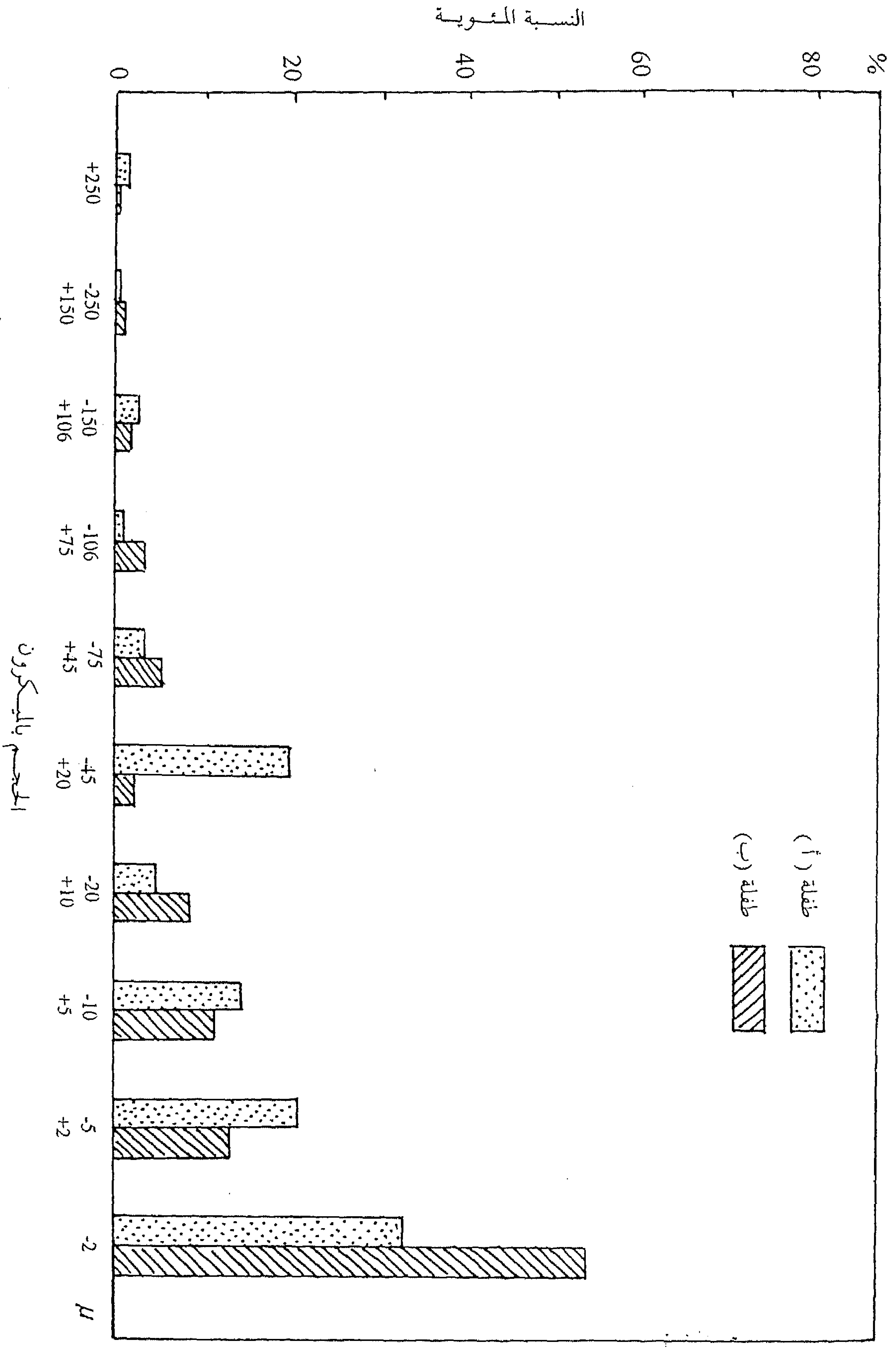
**تأثر خواص الطفلة وتركيبها بطريقة تكوينها فى الطبيعة** والتى تتكون نتيجة تفتيت ميكانيكى وكيميائى للصخور النارية، إما أن تتكون فى مكانها وتعتبر طفلة رسوبية (أولية) منقولة (ثانوية) مما يؤثر ذلك على التركيب المعدنى والحجم الحبيى لدقائق المعدن حيث تشمل الطفة الرسوبية التى غالباً ما تكون من الكاولين على جزء كبير من بقايا المعادن الأصلية مثل الكوارتز والفلسبار ذات حجم حبيى للكاولين الرسوبى ما بين (١-١٠ ميكرون)، فى حين أن الطفلة المنقولة تصبح بها نسبة من الشوائب ذات الحجم الحبيى المتقارب للطفلة مثل الحجر الجيرى والرمل الناعم، وتعمل عوامل التعرية أيضا كعملية طحن لدقائق الطفلة المنقولة وفى هذه ا لحالة يتراوح الحجم الحبيى لها ما بين (٠,١-١,٣) ميكرون.

بجانب هذا فإن الحجم الحبيى للطفلة له تأثير مباشراً على درجة اللدونة والتى يتحدد عن طريقها قابلية التشكيل للأنواع المختلفة من الطفلة، حيث كلما صغر حجم دقائق الطفلة كلما احتاج إلى نسبة أكبر من الماء لتغطى سطح دقائقها كما تحتاج إلى عناية أكبر فى مرحلة التجفيف لخروج نسبة الماء المتحد ميكانيكى بدون أن تؤدى إلى عيوب فى الجسم أو العمل على ضعفه.

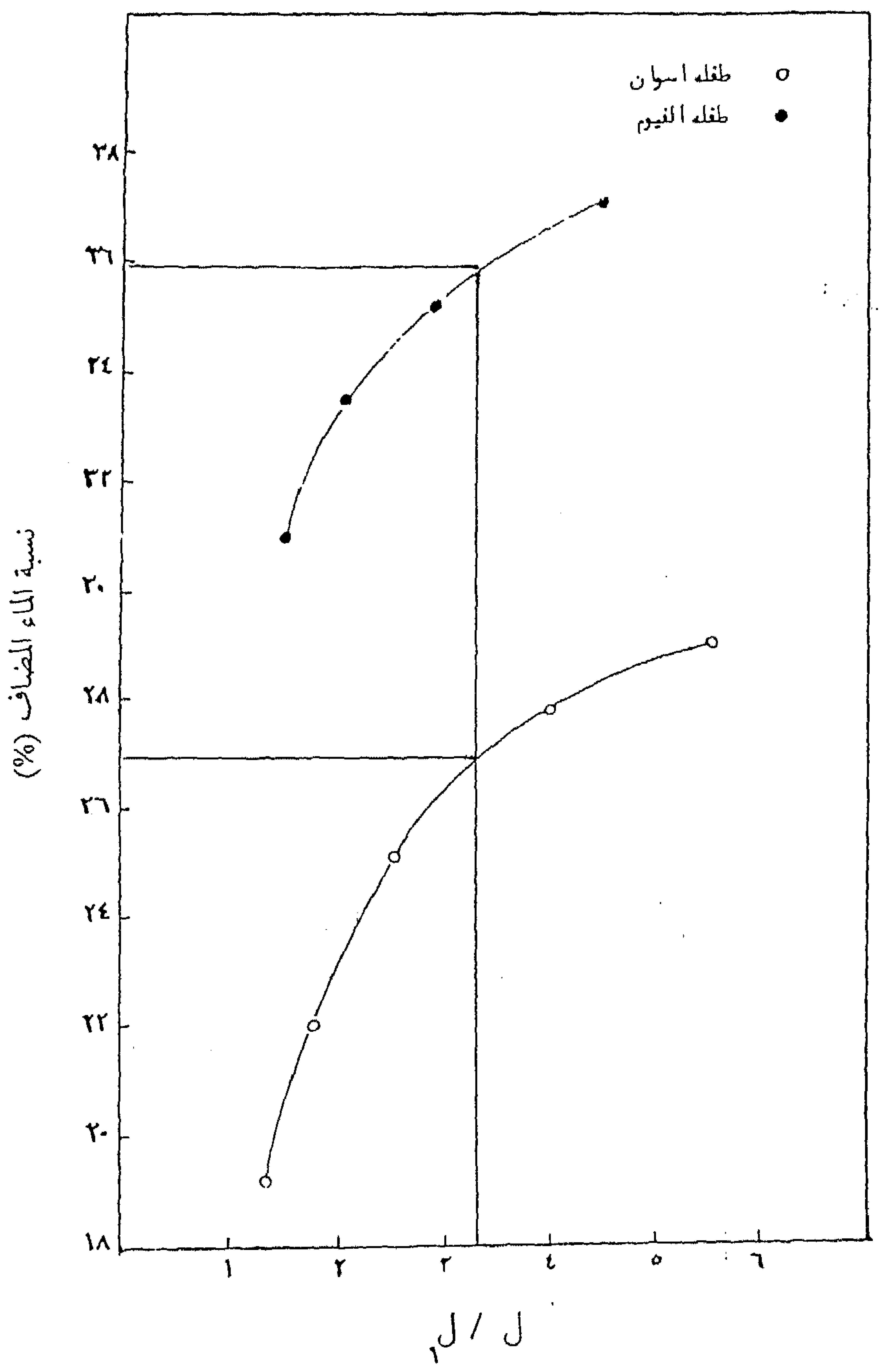
ويمكن عرض نموذجين من الطفلات المصرية أحدهما من أسوان والأخرى من الفيوم، ويتضح من نتائج التحاليل الكيميائية والطبيعية أن الأولى تعتمد على معدن الكاولينيت بنسبة حوالى ٦٨% والثانية تعتمد على معدن المونتموريللونيت بنسبة حوالى ٥٢% والتى تتميز بحجم دقائق أصغر اوبالتالى لدونة عالية وهذا ما يتضح فى كل من شكل رقم ٣، ٤.

حيث يوضح الشكل رقم (٣) النسبة الأكبر من دقائق طفلة الفيوم من حجم أقل من ٢ ميكرون بنسبة حوالى ٦١% بينما تقابل ٣٦,٧% تقريباً من طفلة أسوان، وهذا ما يؤثر على اللدونة حيث تمتص سطح الدقائق الأصغر نسبة أكبر من الماء وذلك لزيادة سطحها، وهذا ما يتضح فى شكل رقم (٤) الذى يوضح معامل اللدونة النسبية لكل من طفلة أسوان حوالى ٢٧% وطفلة الفيوم ٣٦ % تقريباً.

كذلك فإن **معرفة التركيب الكيميائى والمعدنى لخام الطفلة** لمعرفة أهم العناصر المكونة لمعدن الخام والشوائب الداخلة فيه حيث تحتوى خامات الطفلة بجانب معادن الطفلة من كاولينيت Kaolinite ومونتموريللونيت Montmorillonite على شوائب مختلفة أهمها أكاسيد الحديد وكبريتات وكربونات الكالسيوم وأملاح الكلوريدات والكبريتات الذائبة كما يدخل البوتاسيوم ضمن تركيب معدن الميكا كشائب فى الطفلة.




شكل رقم (٣): توزيع الحجم الحبيبى لنوعين من الطفلة بطريقتى الفصل بواسطة المناخل و سرعة الترسيب




شكل رقم(٤) : معامل اللدونة النسبية لنوعين من الطفلة (أسوان و الفيوم )

وبتعيين المعدن المكون للخام تعطى فكرة واضحة لسلوك الخام عند الحريق، حيث أن العامل الأساسى لتحديد طريقة المعاملة الحرارية للخام تعتمد على كمية ونوع الأكاسيد المكونة له والتى لها تاثير مباشر على مواصفات الجسم الخزفى وعلى أساسها يتم إختيار خام الطفلة.

وفيما يلى بعض التركيبات لنوعيات من الطفلة تبعا للتحليل الكيميائى (جدول رقم ٥)، والتى توضح مدى التنوع فى التركيب وبالتالى فى الإستخدام أو الخصائص الناتجة عنها.

يجب التأكد من **فعل الشوائب على خصائص المنتج** حيث توجد بعض الشوائب الضارة على خصائص المنتج مثل وجود الجبس، وعامة تراعى المواد الجيرية المتواجدة فى الطفلة وخاصة الدقائق الأكبر من ١مم حيث تحدث مشاكل متعددة فى الطوب الناتج من حدوث انتفاخ لتلك الدقائق المنتشرة فى التركيب يشوه الطوب ويؤدى إلى شروخ وبالتالى يضعف مقاومته ضد الضغط.

**تعيين نسبة ا لمواد غير القابلة للتشبع بالماء Un Slakable** ذات الحجم الحبيبى الأكبر من ١مم، إذا وجدت نسبة كبيرة فى تركيب الطفلة يتم طحن تلك الدقائق أو أن تفصل بواسطة النخل.

ويجب مراعاة أنه ليست كل الطفلات يمكن أن تفكك أو تشبع بالماء وهذا لا يلائم صناعة الطوب لإحتياجها إلى عمليات طحن وتجهيز.

## سلوك الطفلة فى مرحلة التجفيف

من الأهمية معرفة سلوك تجفيف الطفلة المختارة حيث يجب أن تجف بسرعة ملائمة وأمان بدون حدوث تشرخ أو إلتواء للجسم الخزفى.

من الطفلات التى تحدث التواء للجسم الخزفى أثناء مرحلة التجفيف هو معدن المونتموريللونيت الذى يتميز بلدونة عالية ويمتص نسبة كبيرة من الماء، يكون من الصعب التخلص من تلك النسبة ويحدث عن ذلك إنكماش تجفيف كبير، لذا يفضل إستخدام هذا المعدن بنسبة قليلة فى التركيب للعمل على زيادة معامل لدونته.

يجب تحديد نسبة إنكماش الجسم الخزفى بعد مرحلتى التجفيف والحريق فى نسبة مئوية تراعى فى أبعاد الطوبة قبل التشكيل.

جدول رقم (٥): بعض تركيبات لنوعيات من الطفلات المصرية نتيجة التحليلات الكيميائية

| الاكاسيد | | طفلة أسوان | طفلة الفيوم | طفلة المقطم | طفلة حلوان | طينة طره | طينة سوهاج |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| س أ٢ | $SiO_2$ | ٥٦,٣ | ٣٨,٤ | ٦٦ | ٤٨,٤ | ٣٥,٩ | ٢٦,١ |
| لو٢ أ٣ | $AL_2O_3$ | ٢٧,٦ | ١٥,٦ | ١٦ | ٢٦,٤ | ١٤,٥ | ٦,٦ |
| ح٢ أ٣ | $Fe_2O_3$ | ٢,١ | ١٠,٤ | ٤ | ٦,٠ | ٦,٠ | ٣,١ |
| تى أ٢ | $TiO_2$ | ١,٨ | – | ١,٥ | ٠,٢ | – | – |
| كا أ | $CaO$ | ٠,٩ | ١٠,٢ | ١,٥ | ٣,٠ | ١٤,٢ | ٢٩,٣ |
| ما أ | $MgO$ | ٠,٤ | ٢,٢ | | ١,٩ | ١٣,٢ | ٨,١ |
| ص٢ أ | $Na_2O$ | ٠,٢ | ٥,٠ | ٣,٥ | ١,٠ | – | – |
| بو٢ أ | $K_2O$ | ٠,٤ | ٣,٤ | | ٠,٤ | – | – |
| فاقد الحريق | I.L. | ١٠,٢ | ١٥,٣ | ٧ | ١١,٩ | ١٥,٢ | ٢٦,٧ |
| المجمـــوع | | ٩٩,٩ | ١٠٠,٥ | ٩٩,٥ | ٩٩,٢ | ٩٩,٠ | ٩٩,٩ |

## إختيار العمليات الصناعية

يوجد عاملين على الأقل فى إختيار العمليات الصناعية

١) نوع المنتج المطلوب تصنيعه.

٢) الخصائص الطبيعية للمواد الخام المختارة.

العامل الأول: يتوقف على النوعية المطلوبة إنتاجها تبعا للإحتياج مثل إتباع مواصفات المنتج من أبعاد محدده ومواصفات طبيعية معينة.

والعامل الثانى: هو تأثير الخصائص الطبيعية للمواد الخام فى إختيار المنتج وفى العمليات الصناعية الملائمة له.

مثال لذلك أنه توجد بعض الطفلات غير اللدنة تلائم التشكيل بواسطة الضغط بالطريقة الجافة Dry Method أو بالطريقة النصف الجافة Sime-dry Method وتستبعد كل من طريقة التشكيل اللدن أو التشكيل بالبثق.

كما أنه فى الصناعات الخزفية الثقيلة عندما تكون الطفلة سهلة التفكك يتم طحن مبلل وتجهيز للطفلة للتشكيل ثم ماكينة الطحن والبثق، أما إذا كانت أكثر صلادة فإنها تحتاج إلى تكسير وطحن ونخل ثم خلطها بنسبة الماء المطلوبة ثم التشكيل بماكينة العجن والبثق.

وعامة فإن الشكل رقم (٥) يوضح تسلسل العمليات الصناعية فى طريقة التشكيل بالبثق.

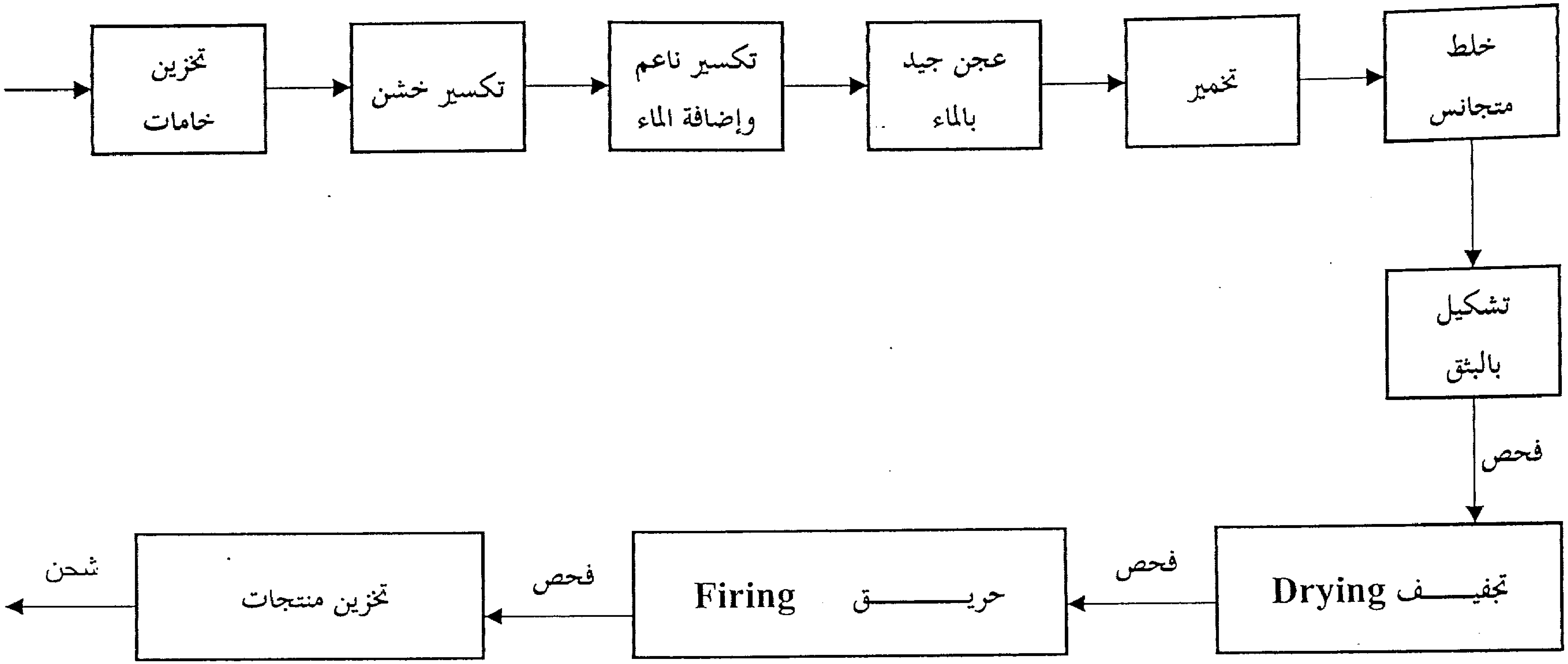
كما أنه فى حالة إضافة أى من المواد الخام للطفلة مثل الرمل تضاف تلك العملية كأحد العمليات الصناعية فى الإنتاج وهكذا.

## العمليات الصناعية التى تتبع فى صناعة طوب البناء فى طريقة التشكيل بالبثق

### الإعداد والتحضير

فى صناعة الخزفيات يجب أن تجهز الخامات للتشكيل تبعا لنوعية المنتج ومواصفاته، ففى الصناعات الخزفية الثقيلة عامة والتى تشمل مواسير الصرف الصحى والقراميد وطوب البناء وغيرها تحضر الخامات إما بطريقة رطبة Wet أو بطريقة جافة Dry (انظر الجزء الأول من فصول فى الخزف فصل أجسام وطلاءات صفحة رقم ٢٠٥-٢٠٧)، ويتوقف ذلك أيضا على خصائص الطفلة والخامات المختارة والطريقة التى تستخدم فى التشكيل، وتمر الخامات لإعدادها فى عمليات تكسير خشن وناعم وعمليات طحن أحيانا أمثلة لذلك.

١- إن كانت الطفلة سهلة التفكك (وإعدادها للتشكيل بماكينة البثق) تمر من صندوق التغذية إلى الطحن المبلل بواسطة طاحونة الرحى Pan Mill ثم تمر على طاحونة الدرافيل Rollers التى تعمل على سحق الطفلة فى شرائح رقيقة يمكن التحكم فى سمكها بالتحكم فى المسافة بين




شكل رقم (٥): تسلسل العمليات الصناعية التى تتبع فى صناعة طوب البناء فى طريقة التشكيل بالبثق.

الدرافيل ثم تنقل بعد ذلك إلى ماكينة العجن والبثق Pugmill and auger mechine ثم إلى عملية قطع السلك.

٢- أما إذا كانت الطفلة أكثر صلادة تجرى عملية طحن ونخل إلى أن نحصل على النعومة المطلوبة بأن تمر بتكسير خشن مثل إستخدام كسارة فكيه Jow Crusher أو كسارة الشواكيش Hummer mill ثم إلى صندوق الطفلة بواسطة سير ناقل إلى منخل هزاز بحيث يعود الحجم الأكبر إلى الطحن مرة أخرى ثم تنقل الطفلة المطحونة إلى صوامع تخزين وتغذية لخلاط يضبط فيه نسبة الماء المضاف ثم إلى التشكيل بماكينة العجن والبثق ثم إلى عملية قطع السلك.

٣- ويمكن إستخدام الطين الصفحى Shales فى طريقة يابسة Stiff تغذى الطفلة طاحونة رحى ذات قاعدة مثقبة وتجرى عملية نخل وإعادة الخشن إلى الطاحونة ثم يخزن فى صوامع ثم يغذى بها خلاط بعمودى إدارة ويضاف نسبة الماء ثم تشكل بماكينة البثق فى شكل كتل تضغط فى قالب.

٤- الطين الصفحى الصلد فى طريقة كبس نصف جاف Semi-dry method تمر الطفلة من حوض التغذية إلى طحن جاف، بإستخدام طاحونة رحى مثقبة يتم بعدها عملية نخل وإعادة الخشن إلى الطاحونة وتضبط نسبة الماء المطلوبة ثم تنقل إلى التشكيل بالضغط ويمكن أن تتم تلك الطريقة بصورة أكثر آليه وهذا كما يلى:

تنقل الخامات بواسطة سير ناقل إلى منخل هزاز يعمل على تدرج الحجم بحيث يتجه الحجم الكبير إلى عملية تخلص من الأحجار (Stones) وتكسير ثم إلى سير ناقل بينما الحجم الصغير يذهب مباشرة إلى السير الناقل ومنه إلى حوض تخزين وطحن جاف بطاحونة الرحى مع منظم تغذية آلى وسير ناقل إلى منخل بحيث يعود الحجم الخشن إلى الطاحونة مرة أخرى، ويغذى المكبس آليا وبعد الكبس ينتقل الطوب إلى التجفيف.

أحياناً قد تحتاج عمليات الإعداد إلى:

١- التخلص من شوائب الحديد الضارة بواسطة مغناطيس.

٢- طحن درافيل مع التخلص من الأحجار.

٣- إطالة عمليات التخمير.

## التشكيل بالبثق

تتميز الطرق الميكانيكية عامة بإقتصاديات وكفاءة إنتاج أكبر من الطرق اليدوية مع توفير الأيدى العاملة مما يخفض التكلفة مع زيادة معدل الإنتاج.

لذا يفضل فى صناعة الطوب إختيار الطريقة الميكانيكية بالتشكيل بالبثق لإعطاء معدل إنتاج كبير مع تقليل التكلفة والوقت كما تتميز تلك الطريقة بمرونة وحرية فى ملاءمتها لإستخدم طينات لدنة أو غير لدنة مثل الطينات الصفحية Shales، واستخدام قوى كهربائية منخفضة Low horsepower فى معدل إنتاج منخفض وعملية بثق طين لدن لا يستخدم فيها عملية تفريغ الهواء، أو أن تستخدم قوى كهربائية عالية High horsepower ومعدل إنتاج عالى وإستخدام بثق لطفلة غير لدنة Stiff مع تفريغ الهواء.

كذلك فإن طريقة البثق تستخدم فى تشكيل نوعيات مختلفة من الطوب المصمت أو المفرغ أو البلاطات أو المواسير أو ما يشابهها.

يلى كل من عمليتى إعداد وتحضير الطفلة وعملية التشكيل مراحل تجفيف وحريق.

## مرحلة التجفيف

تعتبر مرحلة التجفيف هامة وجوهرية حيث يتعرض المنتج لإجهادات تؤدى إلى الشرخ أو الإلتواء لذا تحتاج تلك المرحلة إلى عناية كبيرة لتلافى تلك العيوب للتخلص من نسبة الرطوبة تدريجياً.

ويمكن إستخدام مجففات متقطعة مثل مجففات الغرف أو الممرات أو مجففات مستمرة مثل المجفف النفقى.

ويتم تسخين المنتج تدريجياً وتبدأ من درجة حرارة الغرفة إلى ١١٠°م أو تصل إلى ١٥٠°م للتخلص من ا لماء المتحد ميكانيكيا هذا بالتسخين بإستخدام عوادم الغازات الناتجة من أفران الحريق.

## الحـــريـــق

يحرق الطوب الطفلى فى مدى درجات الحرارة من ٩٠٠-١٠٠٠°م فى أفران متقطعة أو مستمرة، وتستخدم الأفران المستمرة لإعطاء كفاءة أعلى فى معدل الإنتاج ومنها:

### أفران هوفمان ووارين

تتكون تلك الأفران من غرف تحرق فيها المنتجات بالتوالى أى أن بعض الغرف تكون فى مرحلة تسخين بينما أخرى فى عملية حريق والبعض فى تبريد، ويتم خلال ذلك تفريغ وتعبئة لغرف أخرى، تحتاج تلك إلى الأفران إلى عماله أكبر وخدمة أكبر فى عمليات التعبئة والتفريغ.

### الأفران النفقية

تستخدم فى بعض مصانع الطوب الحديثة وتستخدم فى إعطاء معدل إنتاج ثابت ومستمر، ويدخل فيه الطوب محمل على عربات وتمر بمراحل تسخين وحريق وتبريد حيث ينقسم الفرن النفقى إلى الثلاثة أقسام بالتوالى ويتم ذلك فى حوالى ١٨-٣٦ ساعة أوتصل إلى ٤٨ ساعة.

وتعتبر تلك الأفران أكثر اقتصاداً فى المعدل الإنتاجى المنتظم وأكثر فاعلية فى الاستفادة من التسخين.

# الجزء الثالث

# إعداد المواد الخام

# وعمليات التشكيل

# والتجفيف والحريق

# أولاً : إعـداد المـواد الخـام

## مقدمـــــه

إعداد الطفلة هو من العمليات الهامة الجوهرية فى إعداد المادة الخام فى صورة ملائمة للتشغيل، وتختلف مراحل الإعداد تبعاً لنوع الطفلة وطريقة التصنيع وذلك فى طريقة إعداد رطب Wet أو جاف Dry.

والطفلات ذات الدقائق الناعمة والتى تعطى طفلات لدنة بإضافة الماء تحتاج إلى طحن لمدة قليلة، وعادة تحتاج فقط إلى عمليات عجن بعد إضافة نسبة الماء، بينما الطفلات الأكثر صعوبة فى الطحن تتطلب عدة عمليات تبدأ بالتخزين والخلط والتجوية والتكسير والطحن الجاف والنخل والعجن للخليط مع إضافة الماء وإجراء عمليات تخمير أو تعتيق للمسحوق الرطب أو الطفلة اللدنة.

كما أن باستخدام طريقة التشكيل بالبثق يتم تجهيز الطفلة فى طريقة لدنة تختلف فيها نسبة الرطوبة يمكن أن تكون بنسبة أقل من ١٥% وتسمى طريقة يابسة Stiff أو أن تصل نسبة الرطوبة من ١٨-٢٥% وتسمى طريقة لدنة أو لينة Soft.

وتنوع تلك العمليات فى إعداد الطفلة توضح مدى تنوع خصائص الطفلات إلا أن كل عملية لا يكون فيها تنوع كبير، وعامة فى الإنتاج الكمى تستخدم طفلة متجانسة منتظمة ثابتة فى كل من توزيع حجم الحبيبات ونسبة الرطوبة وظروف التشكيل عامة. مع إجراء إختبارات تحكم يدوى أو آلى على المراحل المتنوعة لعمليات تحضير الطفلة، ولإعطاء جسم متجانس التركيب أو الرطوبة فى الإنتاج الكمى، يمكن إستخدام حفار ميكانيكى بقواديس فى عملية استخراج المواد الخام ولتقليل التنوع فى تركيب المواد الخام أن تستخدم الحفار فى أخذ الخام من الواجهة بمروره واحدة ليتم عملية خلط متجانس لتركيبات الخام فى الطبيعة، أو أن تأخذ الخام من الأماكن المختلفة بنسب ثابتة من كل جزء عن التحميل، وللتوزيع المتجانس يجب أن تكسر الخامات قبل أن توضع فى طبقات أفقية على السطح المخصص للتخزين ثم يعاد أخذ الكومة فى إتجاه رأسى.

## المواد الخام

تختلف درجة نقاء الطينات الطبيعية فمنها ما يكون عالى النقاء يصل فى بعضها إلى ٩٩% من التركيب ومنها ما هو منخفض النقاء لا يتجاوز نسبة معدن الطفلة فيه عن ٢٥% لذا تتفاوت فى خواصها الحرارية تبعا لدرجة نقائها ومقدار ونوع ما تحتويه من مواد مساعدة على الصهر.

تتدرج الطينات من حيث خواصها الحرارية إلى ثلاث درجات رئيسية هى:

١) طينات عالية الخواص الحرارية.

٢) طينات متوسطة الخواص الحرارية.

٣) طينات سهلة الإنصهار.

## أولاً: طينات عالية الخواص الحرارية

منها الطينات البيضاء وطينات الكره Ballclay والطين الحرارى والكاولينات وطينات الخزف الحجرى Stoneware Clay..الخ والتى تلائم منتجات درجات الحرارة العالية التى تستخدم فى إنتاج نوعيات البورسيلان والخزف الحجرى والحراريات والطوب الحرارى وغيرها.

## ثانياً: طينات متوسطة الخواص الحرارية

بها نسبة من المواد المساعدة على الصهر عن نسب وجودها فى الطينات ذات الخواص الحرارية العالية، يتراوح لونها بعد الحريق بين الأحمر والبنى والأسود، تحتوى على شوائب من أكسيد الحديديك والذى يسبب فى تغير لون الجسم بعد الحريق، كذلك تحتوى على كثير من الكوارتز والفلسبار والميكا مع قليل من الجير والماغنسيا.

يغلب استخدام تلك الطينات فى صناعة طوب البناء قمحى اللون وفى البلاطات ذات اللون الفاتح ومنتجات الفخار الأحمر وأنواع أخرى من الخزفيات.

توجد تلك الطينات فى الطبيعة على هيئة طبقات منتظمة شاسعة الإمتداد أو فى شكل عدسات محدودة الأتساع ومن أهم أنواع تلك الطينات هى:

### الطينة الحديدية متوسطة الإنصهار

تحتوى على نسبة من أكسيد الحديديك تتراوح بين ٤-٧%، وتمتاز بشدة تماسكها ونعومة ملمسها وإرتفاع لدونتها كما تحتوى على نسب صغيرة من كربونات الكالسيوم ونسب ضئيلة من القلويات وغيرها من الشوائب، وتنخفض خواص الطينة الحرارية بإرتفاع نسبة الحديد فيها ويغلب وجود الطينة فى الطبيعة على هيئة حجر طينى متماسك تتراوح ألوانها بين الأصفر والأحمر (الغالب انتشارا).

تضاف الطينة الحديدية مع الطينة الجيرية فى عجائن منتجات الفخار الأحمر القابل للتزجج وذلك لتكسب سطح المشغول نعومة وترفع من خواصه الحرارية ومن تلك النوعية الطين الأسوانلى يوجد على هيئة رواسب جنوب غرب أسوان وَوادى أبو عجاج ونجع حجاب وغيرها.

## ثالثاً: الطينات سهلة الإنصهار

طينات ذات ألوان قاتمة بعد الحريق، سهلة الإنصهار تحتوى على كميات كبيرة من مساعدات الصهر القوية من قلويات ومواد جيرية تسوى منتجاها إلى ١٠٠٠°م.

تنحصر استخداماها الرئيسية فى صناعة الطوب العادى والمنتجات الشعبية، وكثيرا ما تخلط بنوعية أخرى من الطينات عالية أو متوسطة الحرارية لرفع خواصها الحرارية، وتتنوع تلك ا لطينات بتنوع ما بها من مساعدات صهر. ومن أنواع تلك الطينات:

### الطينة السيليسية

وهى طينة صفراء تحتوى على دقائق من الكوارتز بنسب تصل إلى ٥٠% من تركيب الطينة، وقد ترتفع نسبة الكوارتز عن ذلك وعندئذ تصير المادة من أحد الصخور السيليسيه، وعادة ما تتلون الطينة بعد الحريق بلون قاتم.

### الطينة الجيرية

هى طينة ضعيفة التماسك خشنة الممس ذات لون يتراوح بين الأصفر والأسمر، تحتوى على مركبات الكالسيوم كالصخور الجيرية والجبس مع نسب متفاوتة من أكسيد الحديد.

والطينات الجيرية متوسطة اللدونة منخفضة فى خواصها الحرارية عن النوعيات الأخرى.

وأغلب إستخدامات الطينات الجيرية صناعة الطوب العادى ومنتجات الفخار الأحمر ولا تلائم تلك الطينات صناعة الأجسام الخزفية المتزججة مثل الخزف الحجرى Stoneware.

ومن أنواع الطينات الجيرية (طينة الأرمل) ترتفع فيها نسبة أكسيد الحديد ويعطى لون أحمر بعد الحريق، وتوجد طين الأرمل كرواسب غير منتظمة متخللة صخور الجبل الأحمر بالعباسية شرق القاهرة.

كذلك فإن (الطين التبينى) من أنواع الطينات الجيرية يوجد على هيئة رواسب رخوة صفراء اللون فى قرية التبين مركز الصف بمحافظة الجيزة، تستخدم فى صناعة الفخاريات الرخيصة كما تضاف إلى عجائن الفخار الأحمر لترفع من صلادتها وتماسكها.

كما تعتبر طينة المقطم أو طفل المقطم من الطين الجيرى إلا أن له خواص ميكانيكية كشدة لدونته مما يجعله غير صالح للاستخدام بمفرده.

ومن الطينات سهلة الإنصهار الطمى والتربة الزراعية.

## اللدونـــــة

تتكون دقائق الطفلة من شرائح صغيرة رفيعة ذات سطحين مستويين وعند إضافة الماء إليها (تمتز) سطوح تلك الدقائق نسبة من الماء وتكون أغشية رقيقة عليها تؤدى إلى إنزلاق سطوح الدقائق عند الضغط بحيث تنزلق كل شريحة على الأخرى كما تعمل أيضا على ربط الذرات بعضها ببعض، وإذا تم تكبير دقائق الطفلة اللدنة بدرجة كبيرة تبدو كما فى الشكل رقم (٦)، وبعكس ذلك حبيبات المواد غير اللدنة مثل حبيبات الكوارتز والفلسبار المسحوقة ناعما لتكون لدنة بسبب شكل الحبيبات الموضحة فى الشكل رقم (٧) حيث توضح إحاطة غشاء من الماء حول الحبيبات الدقيقة ولكن يتضح أيضا أن عدم إستواء سطح الحبيبات لا يؤدى إلى إنزلاقها فوق بعضها البعض كما لا تلتصق الحبيبات ببعضها بإحكام، لذا تضاف المواد غير اللدنة للطفلات النقية فى بعض الأحيان وذلك لتقليل اللدونة وبالتالى تقل نسبة الإنكماش نتيجة تقليل نسبة غشاء الماء الممتز.

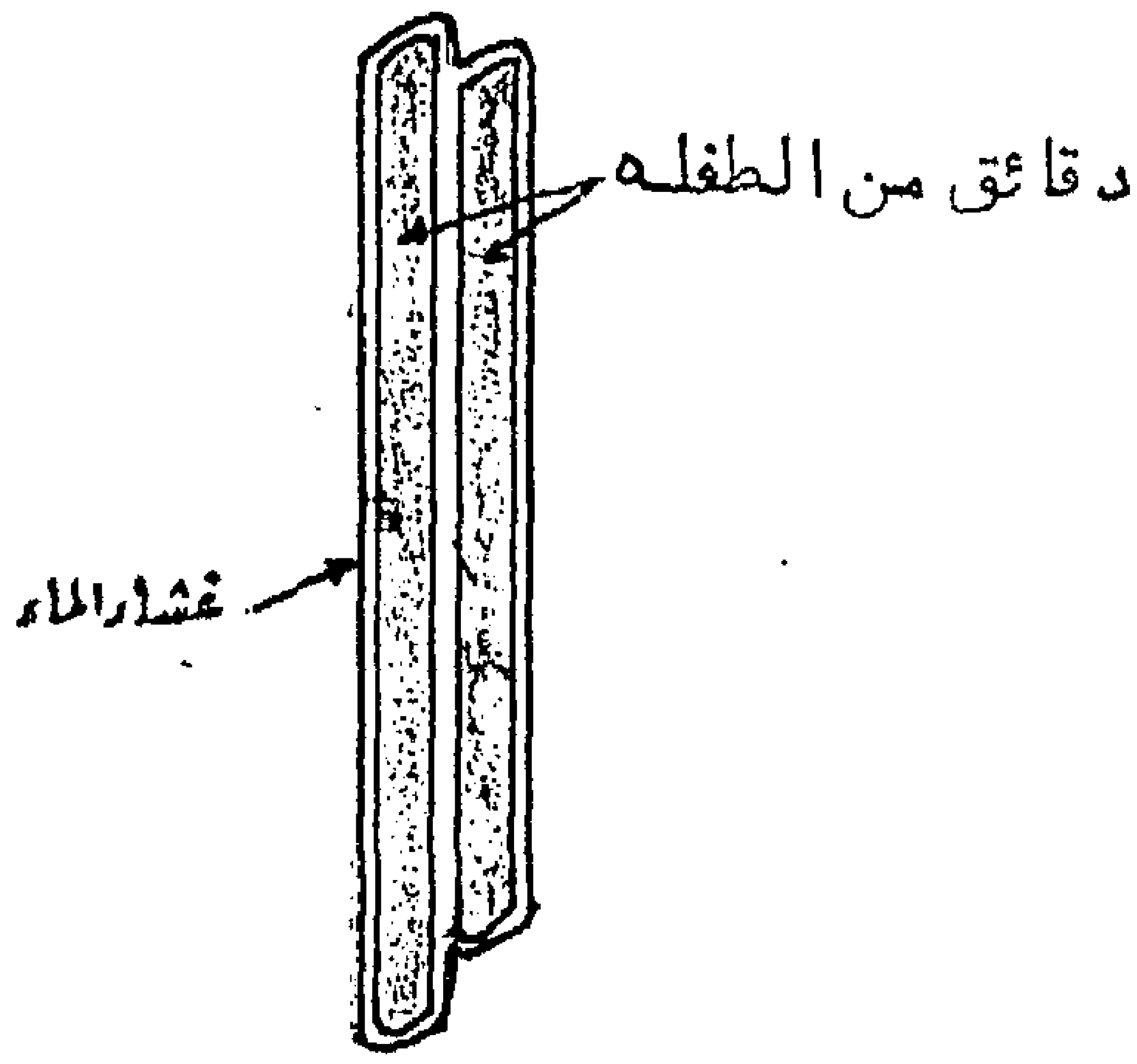
وتحتوى أغلب الطينات الطبيعية على نسب ضئيلة من المواد غير اللدنة كالرمل أو الحصى حتى لو كانت على درجة عالية من النقاء، وأكثر تلك المواد شيوعا هى الكوارتز $SiO_2$، والفلسبار والميكا كما تحتوى بعضها على نسب من أ كسيد الحديد ويحول اللون بعد الحريق إلى اللون الغامق.

ويرجع سبب اللدونة فى الأجسام الخزفية أساسا إلى قوة الجذب الجزيئى بين جزيئات سطح كل من دقائق الطفلة وجزيئات الأغشية المائية المحيطة بها، وكذلك قوة الجذب الجزئى بين جزيئات سطح المواد الخشنة المغلفة بغشاء من الماء كلما تقاربت بعضها من البعض بحيث يسمح بوجود الإرتباط بينها وبين الدقائق الأخرى للطفلة، وقوة الجذب والإرتباط هذه هى التى تسبب للجسم اللدن تماسكا يكفى للإحتفاظ بالشكل الخارجى.

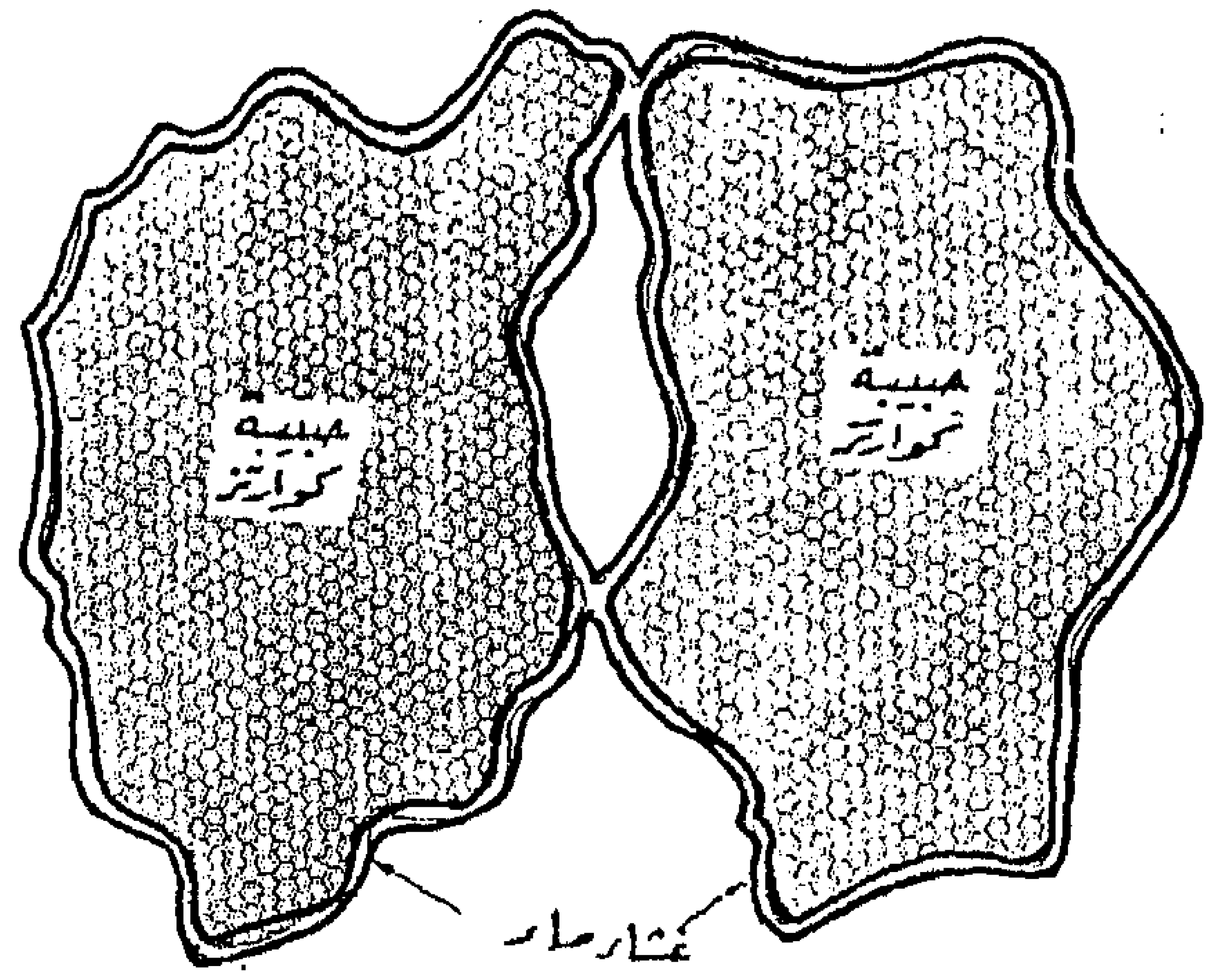
## عمليات التخمير

تعتبر عملية التخمير عملية تقليدية كانت تتبع فى العصور القديمة وقد تعرف الأسر الصينية بتخمير الطفلة إلى أجيال متتالية وهذا ما يعطيها خصائص طبيعية من توزيع دقائق الطفلة بإنتظام تؤدى إلى لدونة أكبر وتتم خلالها عمليات غسيل للأملاح القابلة للذوبان بواسطة الأمطار، ولتلك العمليات تأثير أكبر من عمليات الطحن الناعم.

وتستخدم عملية التخمير هذه فى طرق التصنيع اليدوية وخاصة فى صناعة الطوب والتى تستخدم لتعمل على تفكك الطفلات الصلده والطينات الصفحية، كما كانت تستخدم مع طمى النيل حيث تعمل حفرة بجوار مجرى النيل تتصل بقناة صغيرة ليتجمع فيها الطمى ثم تغلق وتترك لكى يتبخر الماء الزائد ثم تؤخذ للتشكيل وتحتاج تلك الطريقة إلى عمالة تضاف إلى تكلفة المنتج.




شكل رقم (٦): دقيقتان من دقائق الطفلة مفصولتان
بغشاء من المـاء




شكل رقم (٧): حبيبتان صغيرتان من الكوارتز يحيطهما
غشاء من المـاء

وكثيراً من الصناعات الطينية اليدوية وفى بعض البلاد المتقدمة تجرى عمليات تخمير الطفلة لمدة يومين أو ثلاثة بأن تبلل الطفلة بالماء فى حفر أو أحواض ويمكن أن يتم فى تلك الطريقة خلط نوعين من الطفلة مع إضافة الماء، أو أن تفرد طبقة من الطفلة ويضاف الماء وتترك لتجف ويكرر عملية إضافة الماء والتجفيف إلى أن تصبح بلدونة كافية للإستخدام.

وعند ترك طفلة لدنة مدة طويلة تزداد لدونتها وتتحسن خواصها وتزداد متانتها وملاءمتها للتشكيل وخاصة ما كان منها ضعيف اللدونة أو ما يحتوى على مواد غير لدنة كالفلسبار أو الرمل، كما يعمل هذا على تفتت الكتل إلى دقائق يسهل تخلل الماء بينها.

وتعطى عملية التخمير أو التقادم مميزات للطفلات أو الطينات بزيادة اللدونة والتى تعرف (بلدونة التقادم) وتصبح العجائن أكثر ملاءمة للتشكيل وناعمة الملمس، وتخلصت من أغلب نسبة الهواء والغازات المحبوسة بين حبيباتها، ويتوزع ما يتبقى من تلك النسبة توزيعا متجانساً خلال الجسم كله كما تقل نسبة الإنكماش فى الأجسام المصنوعة منها مما يتجنب مشاكل وعيوب التجفيف من تشقق أو شرخ... وغيرها كما يكتسب الجسم قوى ميكانيكية أعلى نتيجة عمليات التخمير والتقادم.

ويرجع السبب فى إكتساب الأجسام الطينية للميزات السابقة إلى اللدونة نتيجة الإنتشار المتجانس للماء خلال حبيباتها وخروج الهواء والغازات فيما بينها وإزدياد إلتصاق أغشية الماء بأسطح أجزائها مما يسبب تماسكها، كما أن وجود بعض المواد العضوية ونمو البكتريا يعمل على زيادة اللدونة.

ويستعاض الآن فى الصناعات الخزفية عامة من عملية التقادم هذه بعملية طرد الهواء والغازات من العجائن بتعرضها لآلات تفريغ الهواء، حيث أن طرد الهواء والغازات من الطفلة يعمل على زيادة لدونتها وتجانس الأجسام المصنوعة منها.

## التكسير الأولى والتمزيق Shredding

تستخدم طرق التكسير الأولى عامة لإعطاء كفاءة أعلى لعمليات التكسير الثانوية حيث تستخدم كسارات أولية لتقليل حجم الكتل إلى حوالى ٣ بوصة أو (٧,٥سم) أو أقل، وتكون الخامة فى هذا الحجم أسهل من حيث طريقة تغذيتها للكسارة وبصورة منتظمة وخاصة حين تجرى التغذية بنسب معينة.

لذا إذا تطلب خلط نوعين أو أكثر من الخامات أن يتم فى مرحلة الإعداد ليتجانس الخلط. وتستخدم الكسارات Crushers لتكسير المواد الصلدة وأجهزة التمزيق Shredders للطفلات

اللدنة ويمكن أن تستخدم الكسارات الفكية شكل رقم (٨) Jow Crushers والكسارات الدواره لتكسير الطفلات سهلة التفكك، كما يستخدم كسارة الدرفيل شكل رقم (٩) لنفس الغرض ويشمل لوحة تكسير وترس (ذو أسنان) تلائم الخامة المطلوب تكسيرها وتلك الأنواع الثلاثة من الكسارات يقل إستخدامها الآن.

وتستخدم أيضا كسارة الشواكيش المحورية Swing Hummer-mill (شكل رقم ١٠) لتكسير المواد سهلة التفكك ويتم هذا عن طريق صدمات للخامة مع الشواكيش أو جوانب الماكينة كما تستخدم أجهزة تمزيق للطفلة شكل رقم (١١)، (١٢) للطفلات اللدنة أو اللينة ولتجهيزها للطحن أو العجن والتخزين وتكون تلك الأجهزة ذات قاعدة دواره بها شقوق رفيعة تكون قابلة للتعديل المناسب لسكاكين القطع حيث يتم تقطيع للطفلة ولتمر من خلال الشقوق إلى جزء التجميع الذى يجرفها للخارج.

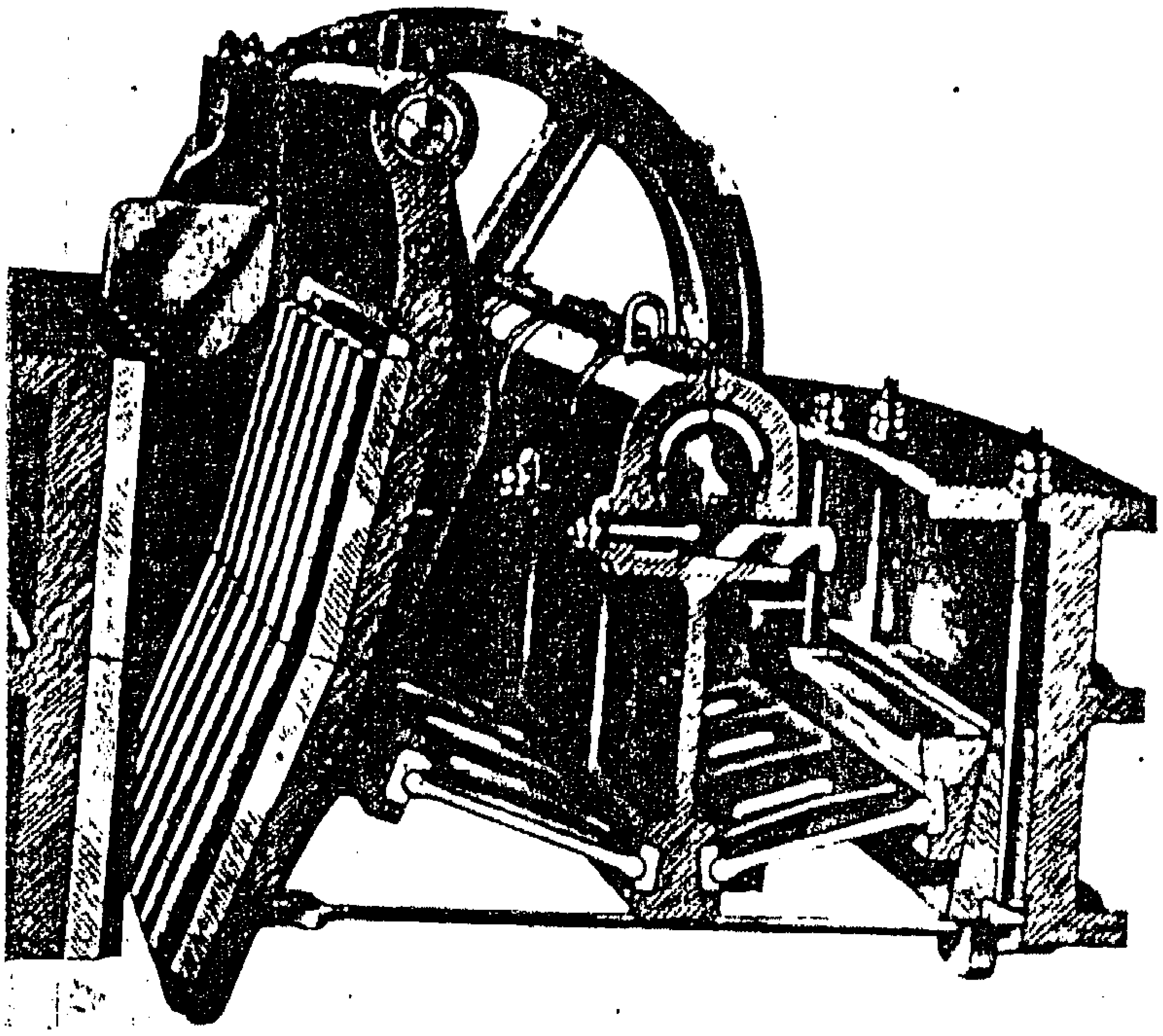
## الطحـــن

### الإعداد الجاف

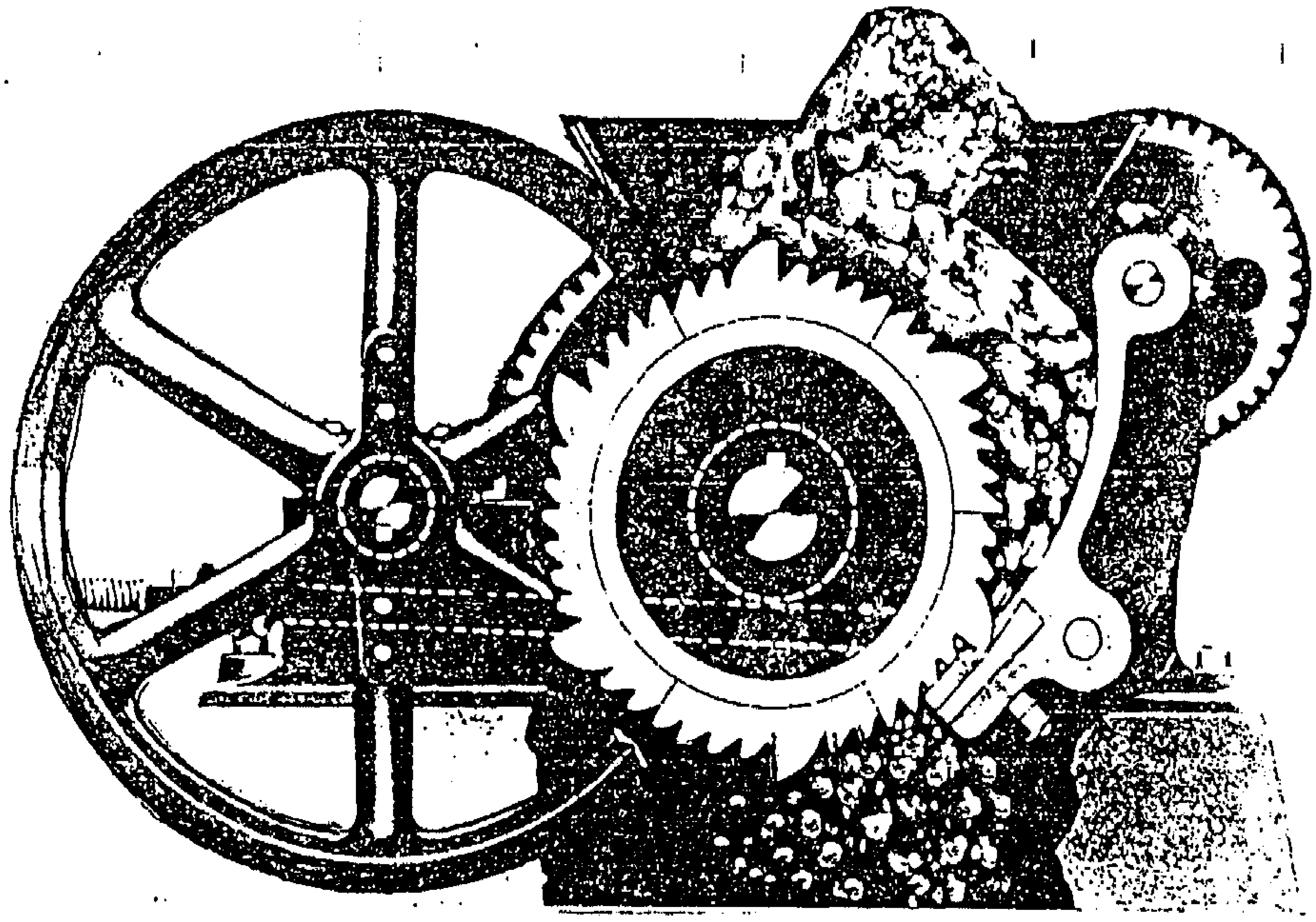
يستخدم طحن ثانوى لتقليل حجم الكتل Lumps الناتجة عن الحفر أو الكسارة الأولية إلى الحجم الحبيى النهائى المطلوب، ويتم هذا إما بطحن جاف أو بإعداد لدن تبعا لنسبة الرطوبة التى تحتويها الطفلة.

والطحن الجاف يلائم الطفلات التى تحتوى على نسبة رطوبة تصل إلى ١٢% تقريباً وتتنوع أجهزة الطحن الثانوى لتشمل طواحين الشواكيش الثانوية ذات منخل فى القاعدة لإعطاء الجسم الحبيى المطلوب، كسارات بسرعة كبيرة، درافيل مزدوجة وطواحين بالصدمات فى أنواع مختلفة ومن أهم تلك الطواحين هى طاحونة الرحى وهى بسيطة للاستخدام عامة والأشكال أرقام (١٣- ١٥) توضح مجموعة من الكسارات والطواحين المختلفة.

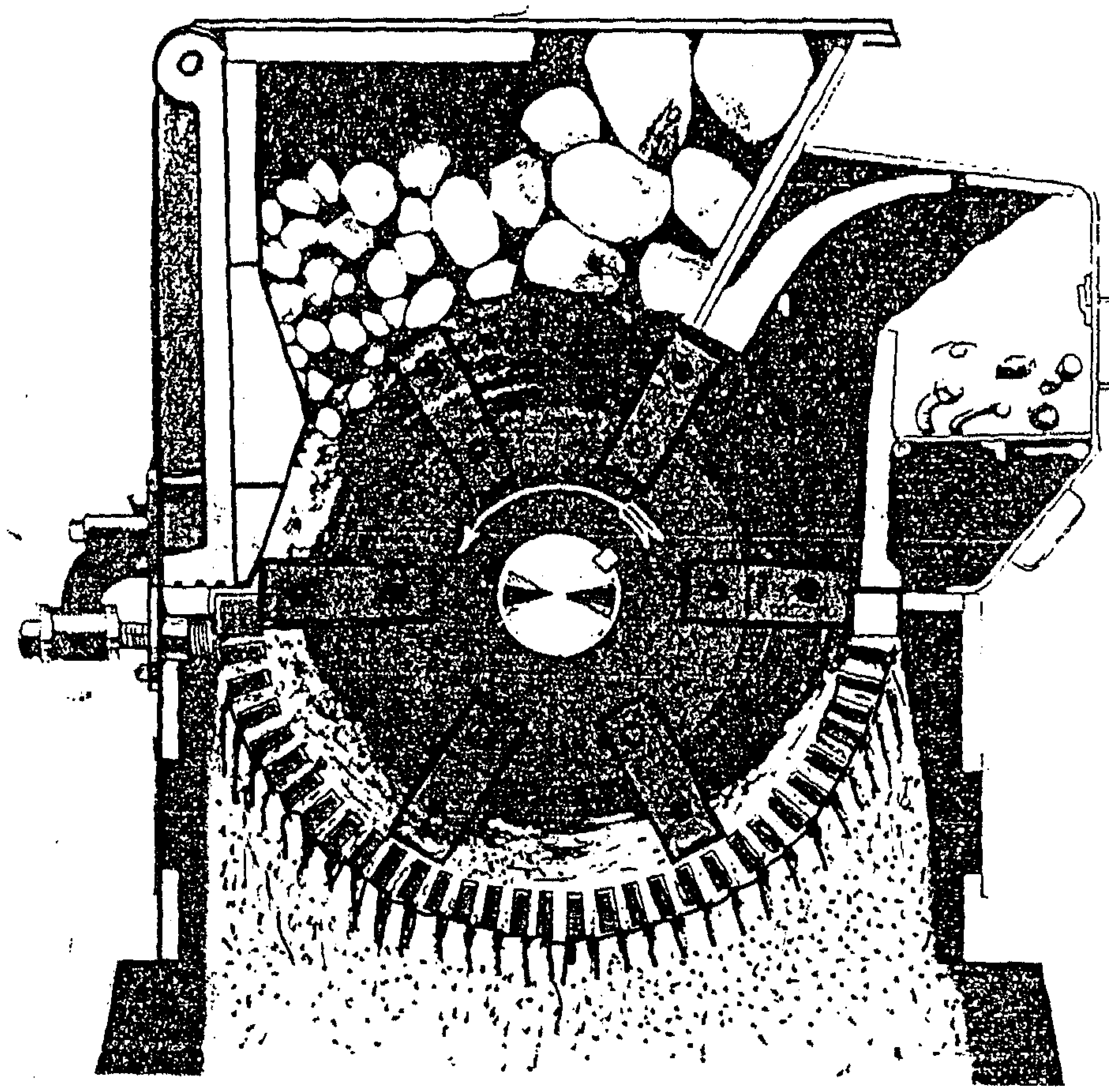
وطاحونة الرحى ذات القاعدة الدائرية تحتوى على إثنين من الدرافيل (الرحى) الثقيلة ذات قطر كبير والتى تتحرك على قاعدة من معدن مقاوم للإحتكاك والبرى، ويتم تغذية الخامة على (الصينية) التى تمثل القاعدة ويتم توجيه الخامة عليها بواسطة (مكاشط) لتمر الخامة تحت الرحى بدوران الصينية وتلف معها ليمر الناعم منها من خلال شبكة مثقبة قطر فتحاتها ربع بوصة والتى تحدد حجم الدقائق التى تمر من خلالها، أما الحجم الأكبر من هذا يمر مره أخرى تحت الرحى بواسطة (المكاشط).



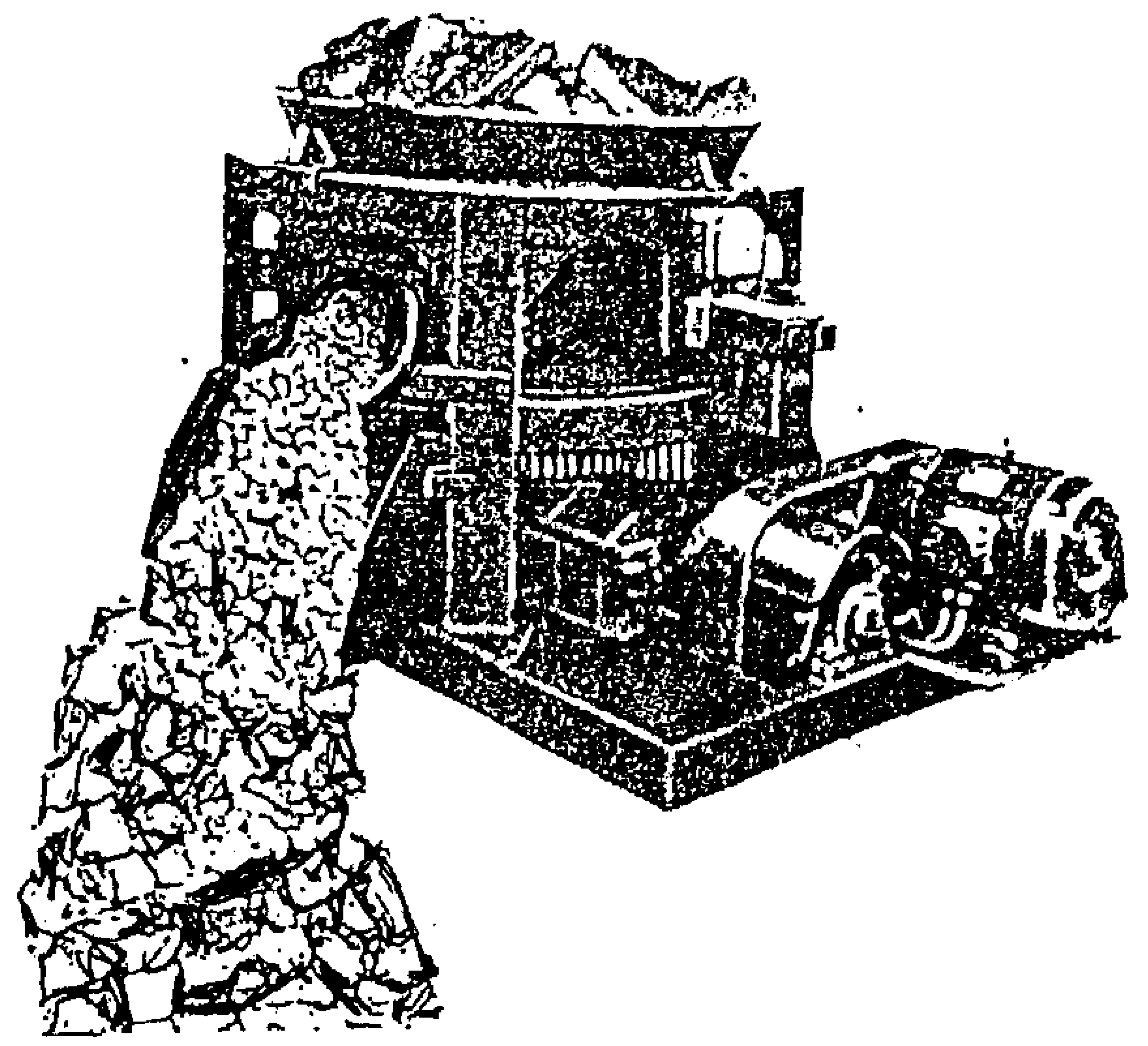
شكل رقم (٨): كسـارة (بليك) الفكية



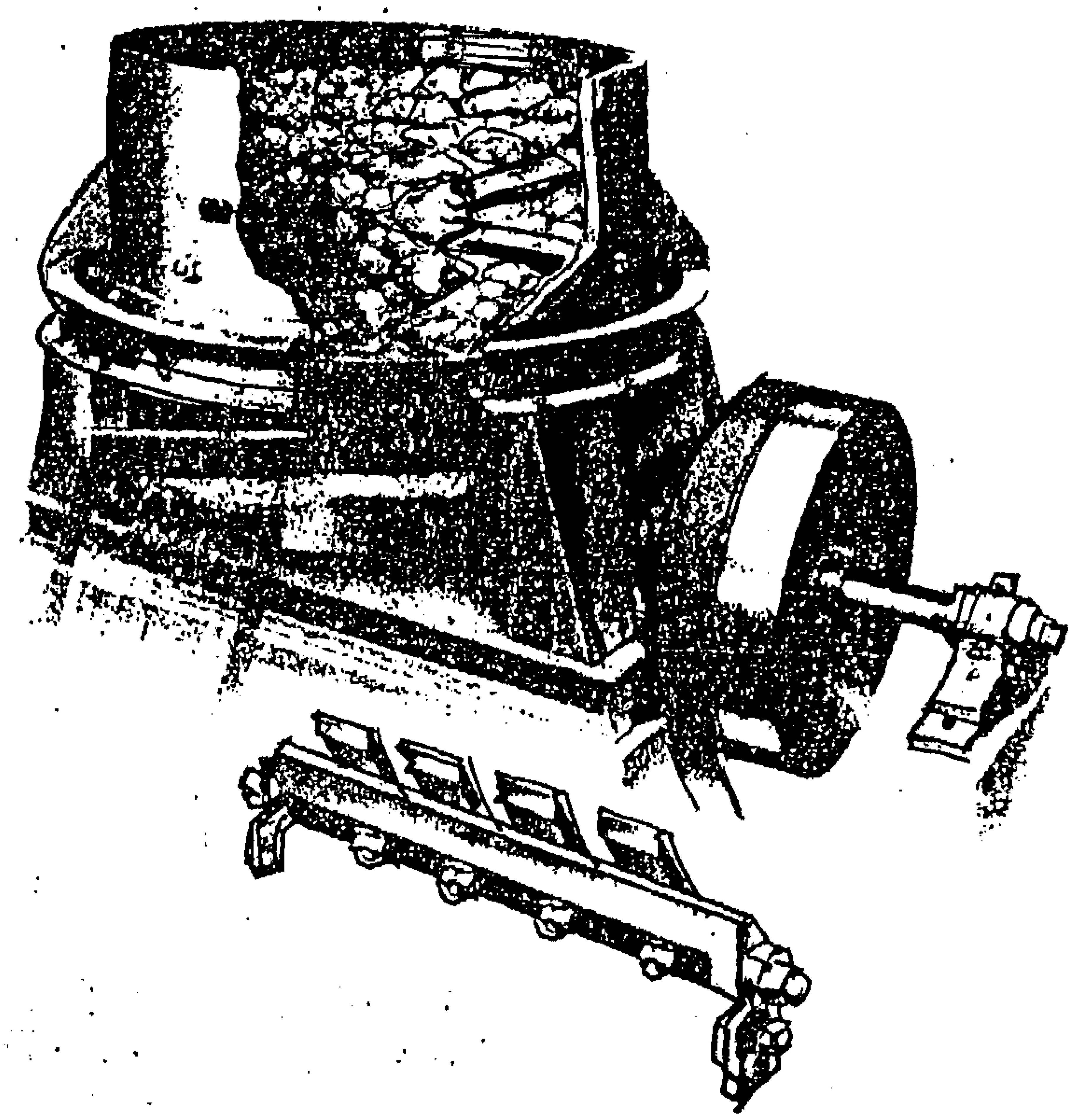
شكل رقم (٩) : كسـارة الدرفيـل



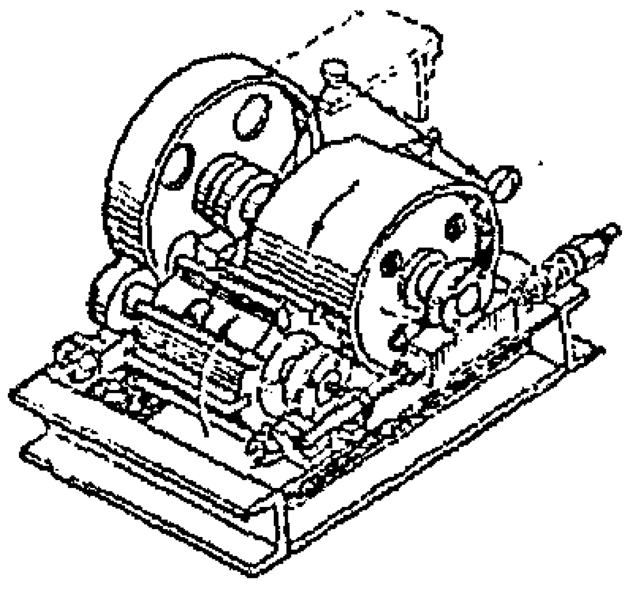
شكل رقم (١٠) : كسـارة الشواكيش المركزية



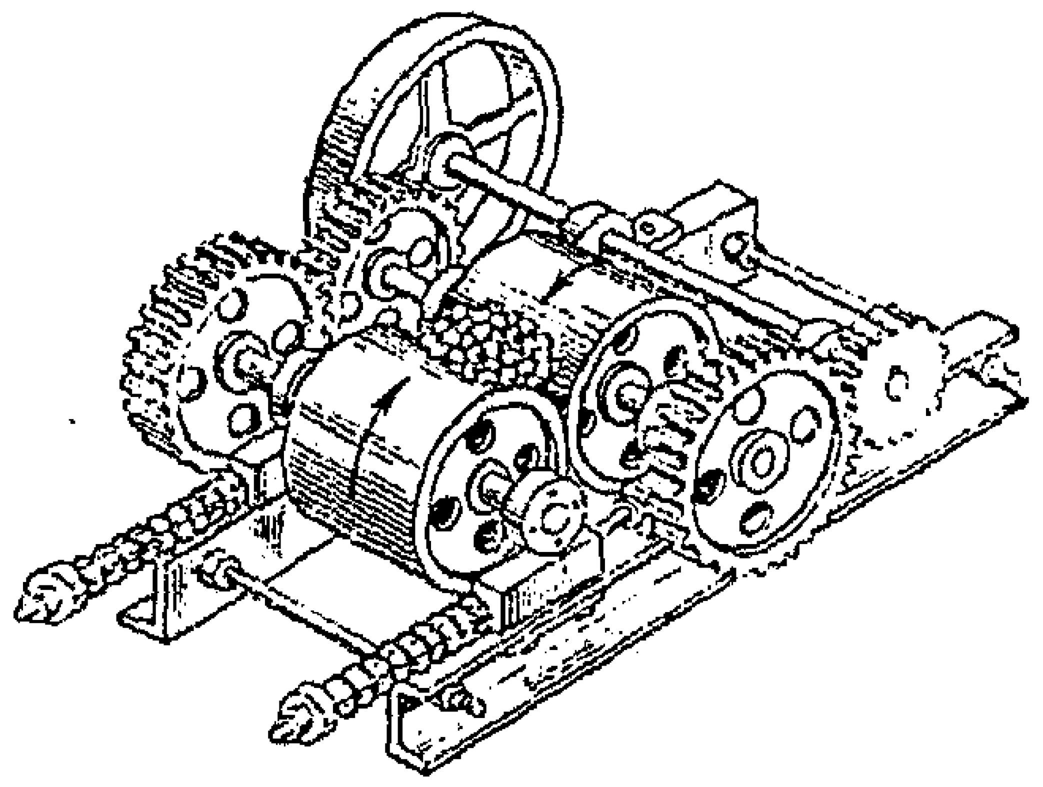
شكل رقم (١١) :ماكينة تمزيق الطفـلة



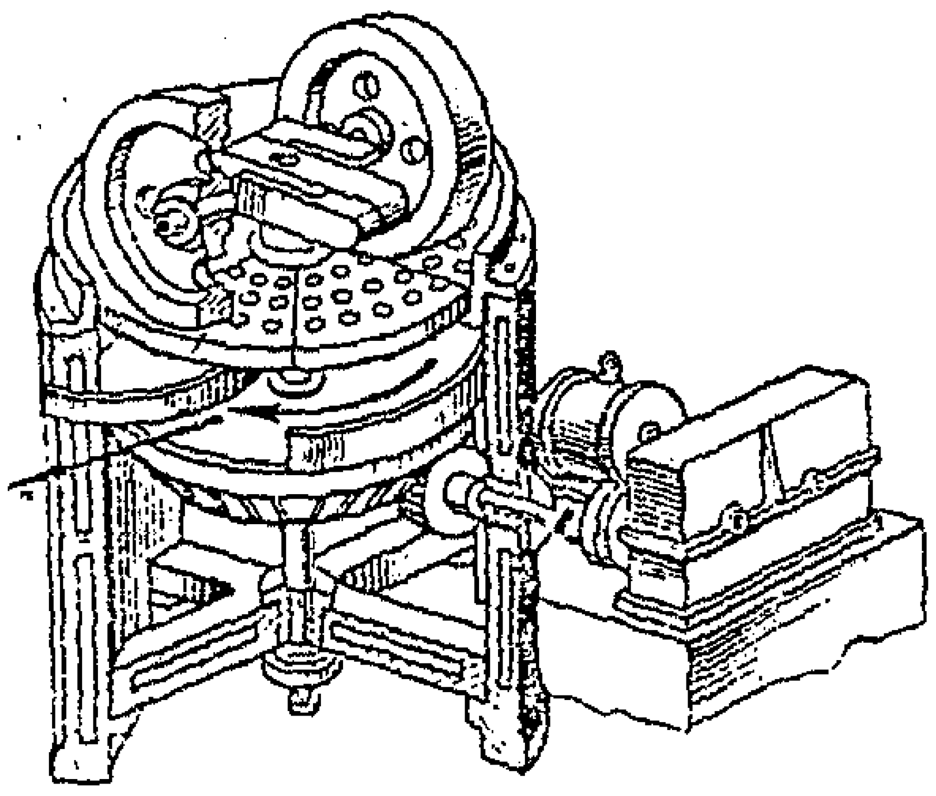
شكل رقم (١٢) :ماكينة تمزيق طفـلة مع توضيح سكاكين التقطيع



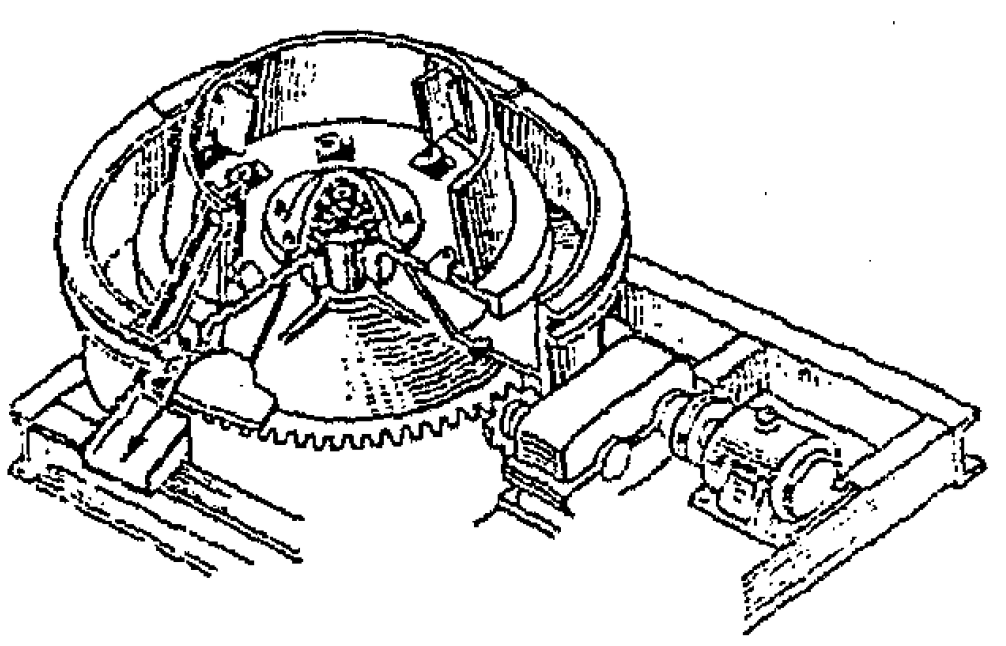
( ب )



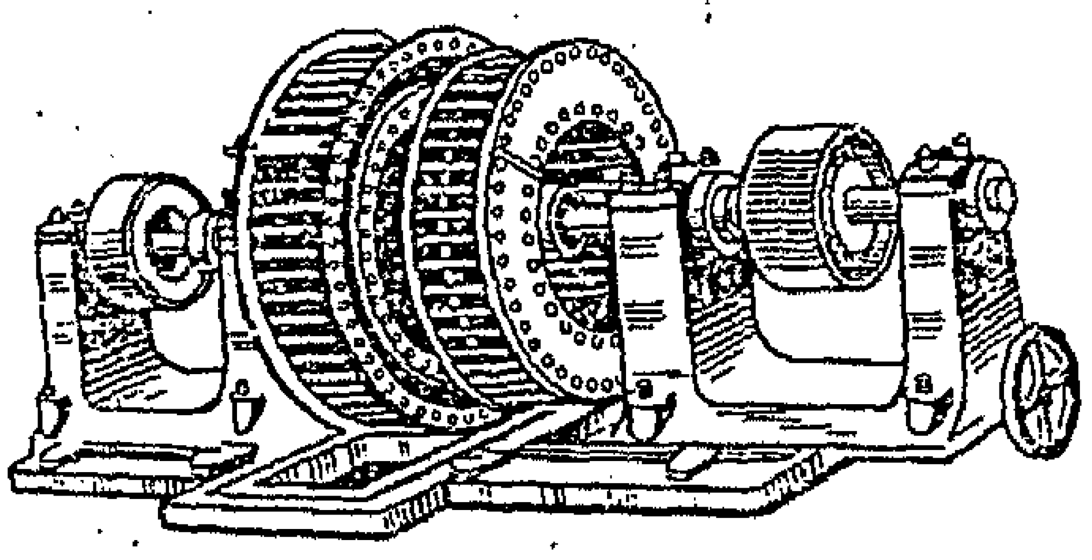
( أ )



( جـ )



( د )



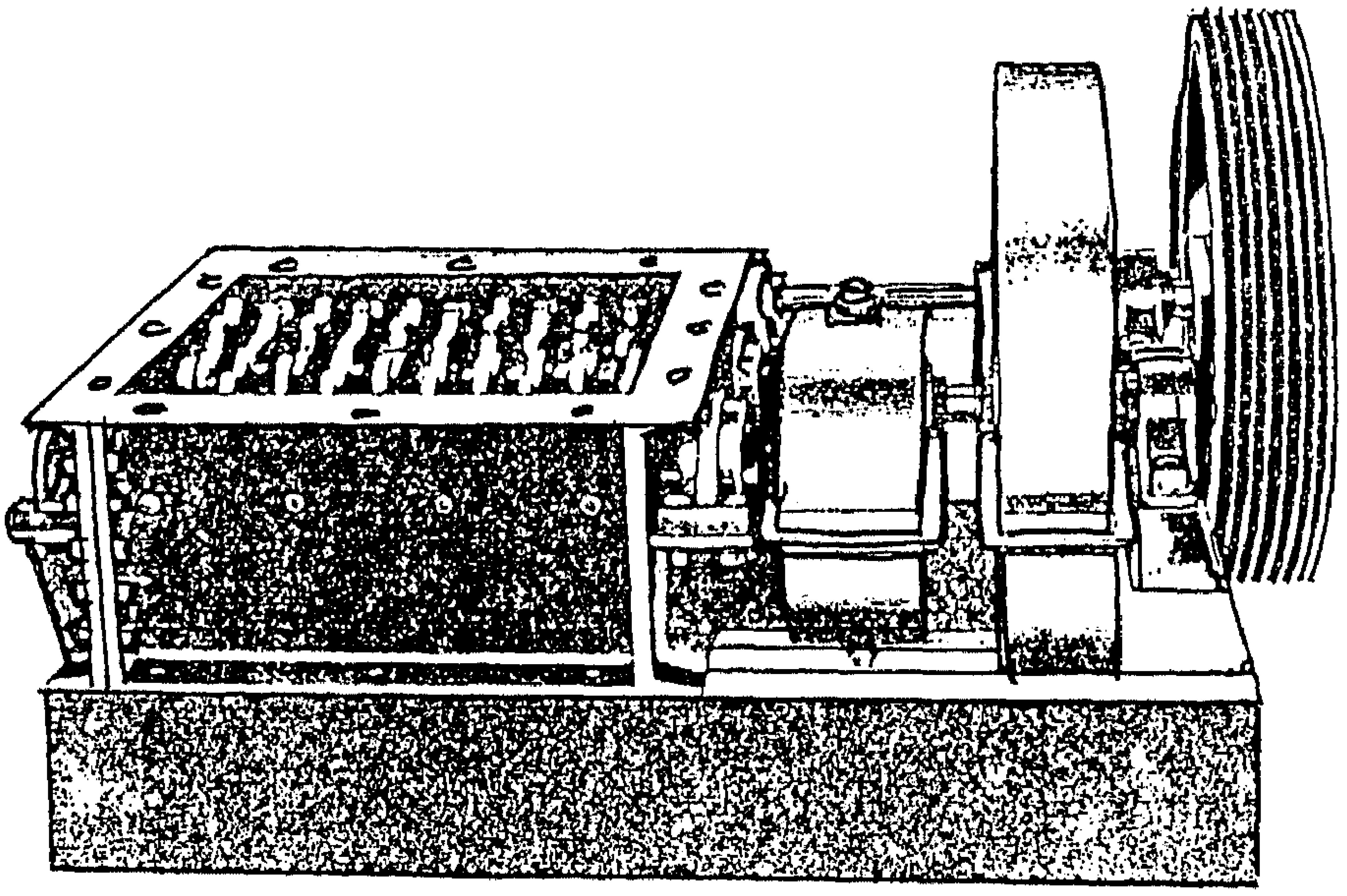
( هـ )

شكل رقم (١٣) : نماذج لماكينة التكسير

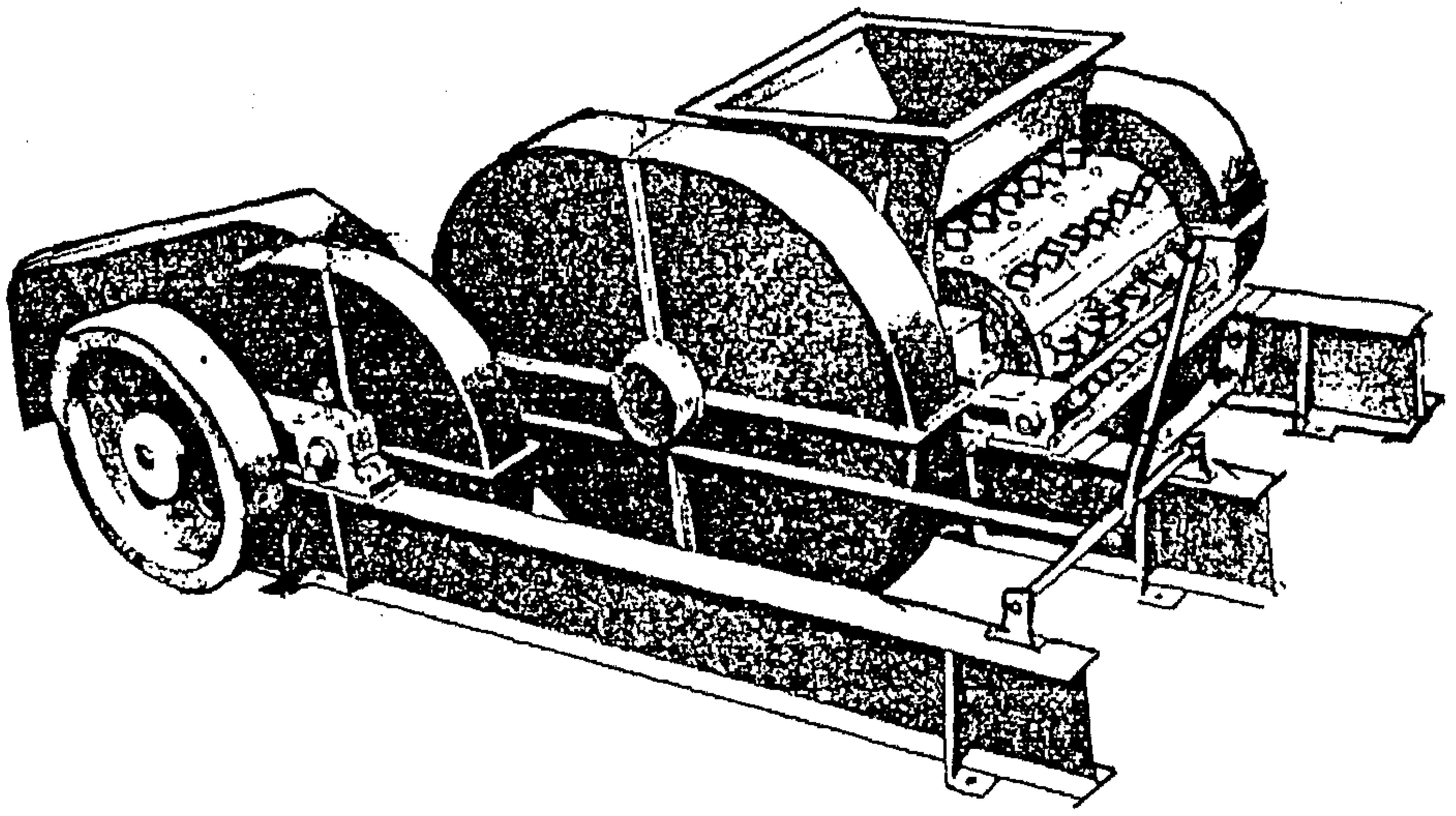
أ - درافيل للتكسير ذات سطح ناعم

ب- درافيل تكسير جـ - تكسير بالرحى

د - ماكينة تكسير هـ -ماكينة تقطيع للطفلة

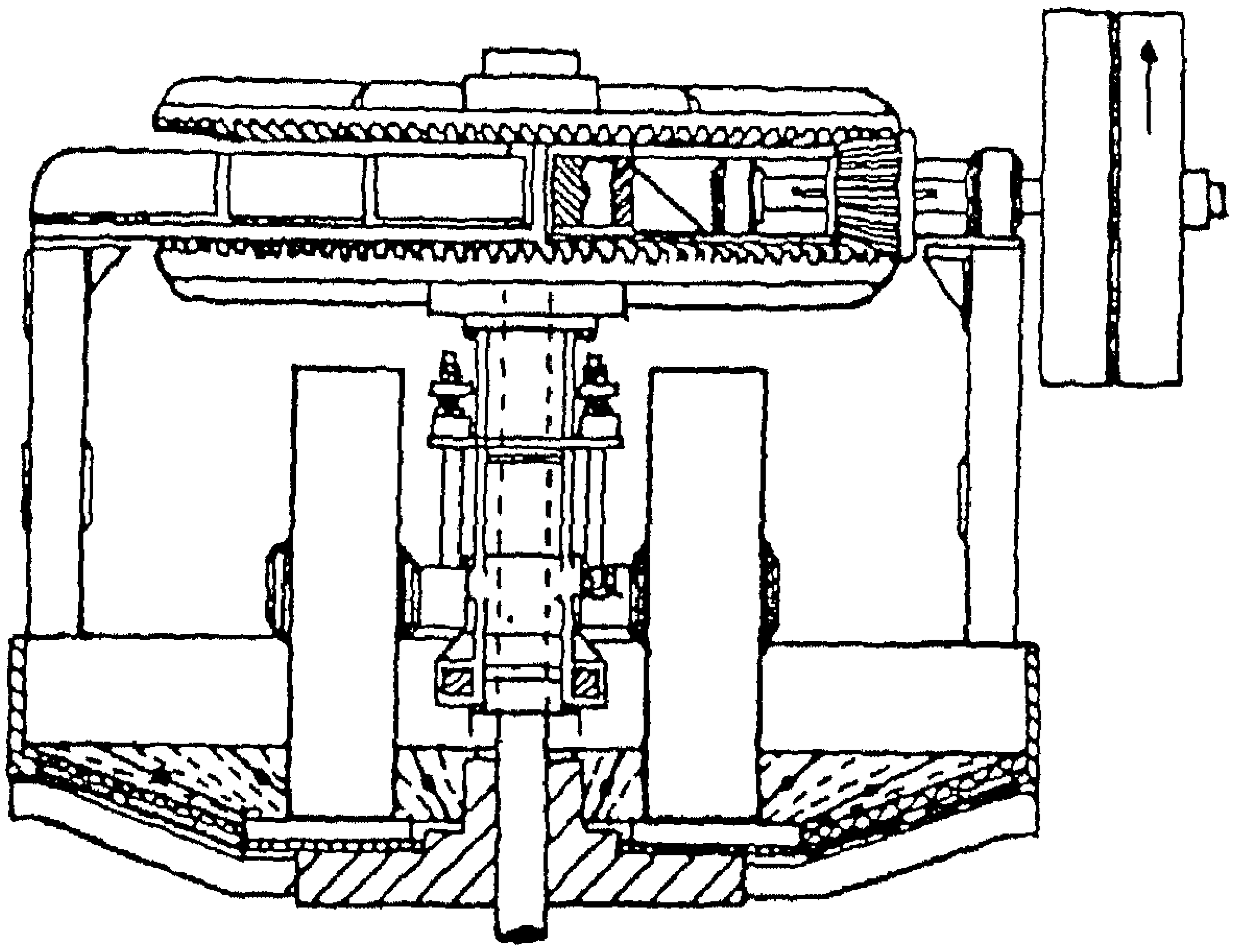


ماكينـة درافيـل Kibbler



ماكينـة درافيـل Cubing

شكل رقم (١٤)



شكل رقم (١٥) : طاحونة رحى بالطريقة الجافة
ذات قاعدة بشبكة مائلة

وتتأثر كفاءة الطحن الجاف بكفاءة النخل ففى الصناعات الخزفية الثقيلة مثل صناعة طوب البناء ومواسير الصرف الصحى وغيرها، فإن الحجم الشائع للمنخل المستخدم حوالى رقم (٧) بفتحة (٠,٠٩٤٩ بوصة).

أما بالنسبة للمنتجات الأكثر صلادة أو المنتجات ذات الملمس الأنعم يستخدم طحن إلى نصف قطر الحجم السابق (٠,٠٤٧٤ بوصة) هذا بالطبع يقلل حجم الناتج.

## الخلط والعجن

يمكن أن يتم الخلط قبل الطحن الناعم أو بعده وذلك بأن تؤخذ كل خامة منفصلة بواسطة قواديس لتتحد على سير ناقل واحد وتلك التغذية للخامات يمكن أن تكون طريقة بسيطة للخلط بنسب بالحجم أو نسب بالوزن.

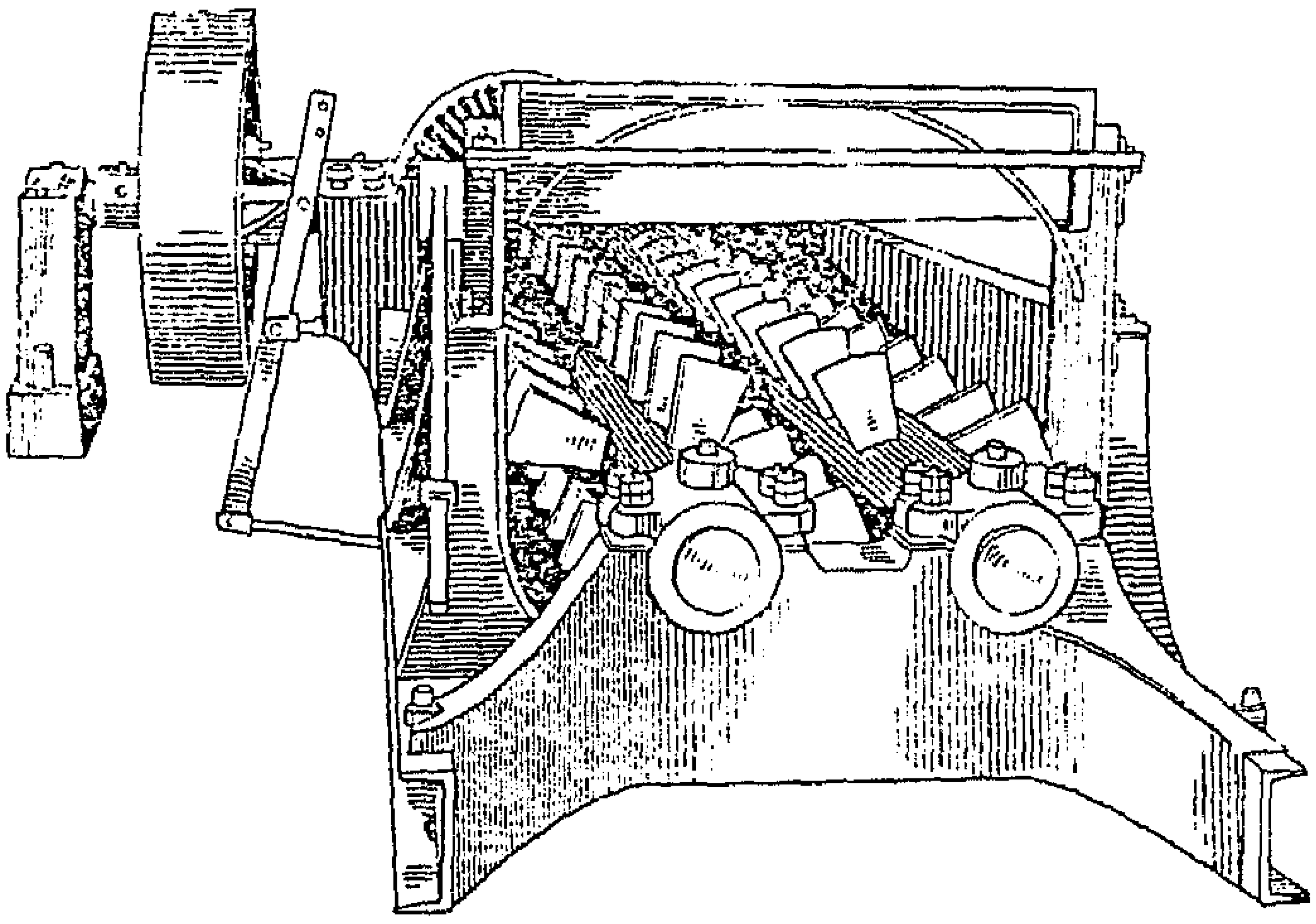
ويمكن بالتالى إضافة رمل أو جروج Grog (كسر المنتج المحروق) أو نوع طفلة أخرى بنسبة كبيرة يمكن الإضافة بنفس الطريقة بإستخدام قواديس منفصلة بنسب بالحجم.

أما إذا كانت الإضافات فى نسب صغيرة لإكساب المنتج مواصفات معينة فلا يلائم الإضافة بالنسبة بالحجم ولكن تضاف بالنسبة الوزنية وخاصة فى الإضافات التى تتطلب نسب دقيقة وذلك كما فى إضافة كربونات الباريوم التى تضاف للتحكم وضبط نسبة الأملاح القابلة للذوبان فى التركيب أو فى حالة إضافة الصبغات التى تضاف لتغير لون المنتج.

والخلاطات التى يمكن إستخدامها فى خلط التركيب متنوعة وبمدى واسع، وعامة يستخدم الخلاط ذو المراوح المزدوجة (شكل رقم ١٦) بصورة كبيرة فى الصناعات الطينية الثقيلة ولها تأثير كبير ويستخدم أيضا الخلاط المفرد المراوح ولكن بصورة أقل من الأول حيث يفضل الخلاط مزدوج المراوح حيث أنه مستمر الإنتاج ويلائم طريقة الإنتاج الكمى للطوب.

ويمكن أن يتنوع التأثير وذلك بإختيار طول الخلاط وضبط المسافة بين أسنان المراوح والمسافة بين العمودين، والتحكم فى فترة العجن للطفلة أو التركيب كما يمكن إستخدام الخلاط لخلط مسحوق الطفلة وإضافة نسبة الماء بطريقة الرش أو أن يغذى بطفلة لدنة تحتوى نسبة الماء.

كما يمكن إستخدام خلاط Pan Mixer لخلط تركيب فى أجسام خاصة إما أن تكون فى إختلاف المادة أو إختلاف نسبة الرطوبة أو أن تستخدم لطريقة يدوية أو ميكانيكية بطريقة قطع سلك.



شكل رقم (١٦) : خلاط بمراوح مزدوجة

## الإعداد اللدن

يتم تكسير الخامات بكسارات الدرافيل المزدوجة أو إحد أنواع طواحين الشواكيش والتى تلائم ا لطفلات الجافة أو الرطبة ولكن تقل ملاءمتها بالنسبة للطفلات الأكثر لدونة وأكثر الماكينات ملاءمة للإعداد الرطب أو اللدن هى طاحونة الرحى بالطريقة الرطبة أى بإضافة الماء أثناء الطحن شكل رقم (١٧) وتختلف تلك الطاحونة عن طاحونة الرحى بالطريقة الجافة فى أن القاعدة ثابتة والرحى متحرك يلف حول محور رأسى وليمر فى أماكن مختلفة من المركز بحيث تغطى جزء كبير من القاعدة لتمر على أغلب الخامة.

كثيراً ما تضاف نسبة الماء فى الطاحونة كما يمكن إضافة نسبة كربونات الباريوم أو الصبغات (عندما يتطلب ذلك) وتلك الطريقة لها تأثير كبير فى عمليات الخلط والمزج، مع درجة من التحكم فى ضبط وتغيير حجم الشقوق للقاعدة المثقبة، حيث عادة ما تأخذ شبكه القاعدة شكل الشقوق فى تنوع من حوالى ٤ بوصات وعرض ثلاثة أثمان بوصة إلى أكثر من ضعف هذا الطول مع عرض بوصة واحدة.

وفى تلك الحالة يتعذر تجنب مرور بعض المواد الخشنة، وعادة ما يمر الناتج من الطاحونة إلى زوج أو أكثر من الدرافيل الناعمة مع التحكم فى المسافة بين الدرافيل فى كل مجموعة والسرعة بحيث تقل المسافة فى كل مجموعة عن السابقة لها ومع زيادة السرعة بحيث تكون فى المجموعة الأخيرة ذات سرعة عالية وأن تكون محكمة.

وتكون سرعة الدرافيل الأسرع أن تتنوع من ١٣٠-٢٥٠ لفة/دقيقة بينما الأقل سرعة من ١١٥-٢٢٥ لفة/دقيقة، وتلك السرعات التفاضلية تعمل على تكسير دقائق الطفلة بعمليات تتكون من تكسير وتمزيق، بينما يتم فى الدرافيل ذات السرعة البطيئة عملية تكسير فقط.

وأغلب المصانع الحديثة تعمل على إستخدام طواحين الرحى (بالطريقة الرطبة) الكبيرة وبرحى أثقل ويتبعها فقط مجموعة أو مجموعتين من الدرافيل ذات سرعة كبيرة، والغرض الأساسى من إستخدام الدرافيل ذات السرعة الكبيرة هو للتأكد من طحن أى كتل متبقية بعد الطاحونة خاصة كتل المواد الصلده أو الضارة مثل الحجر الجيرى حيث ينبغى أن يكون فى أجزاء صغيرة جداً لا تزيد عن ١مم لكى لا تكون ضارة بالمنتج المحروق.

تكون الطفلة بعد مرورها من بين الدرافيل على شكل شرائط طينية رفيعة التى تنكسر إلى قطع صغيرة ملائمة لتغذية ماكينة التشكيل، بالرغم من إستخدام خلاط مزدوج المراوح عادة لتكسير الشرائط وتغذية ماكينة التشكيل بالبثق.

## تخزين مؤقت للطفلة (تخمير)

عادة ما تخزن الطفلة بعد إعدادها وقبل التشكيل تخزين مؤقت للعمل على التوزيع المتجانس لنسبة الرطوبة المضافة خلال الكتلة ولكى تتخلل دقائق الطفلة ويتم التوزيع المتجانس لها.

لذا تستخدم سيور ناقلة لتخزينها فى طبقات أفقية فوق بعضها البعض لتؤخذ بعد فترة من الوقت بصورة آلية ومستمرة لتغذى مرة أخرى سيور ناقلة إلى الخلاط وهذا التخزين المؤقت يفيد فى إستمرار الإنتاج بمعدل منتظم من ماكينة التشكيل دون التقيد بمعدل إنتاج الطواحين أو الكسارات ويعطى الإنتاج الأقصى لماكينات التشكيل.

وحجم الخزان المؤقت لا يقل عن حجم إستخدام يوم إنتاج وبحيث يغذى بالطفلة من أعلاه بصورة مستمرة فى حين يسحب الطفلة التى تم تخزينها من أسفل الخزان وتحت ظروف ضغط الطبقات فوق بعضها البعض تصل الطبقة ا لعليا إلى أسفل الخزان بعد مرور حوالى ٢٤ ساعة والذى يسحب ويعمل على السحب المنتظم للطفلة المخزنة.

تتحدد سرعة دوران ماكينة التشكيل بالبثق تبعا لمعدل تغذية المواد الخام لها، إذا كانت التغذية بمعدل كبير يتم الحصول على أقصى إنتاج للماكينة، أما إذا كانت كمية المواد الخام المزود بها بمعدل غير منتظم فإن الإنتاج لا يكون مستقر أو ثابت.

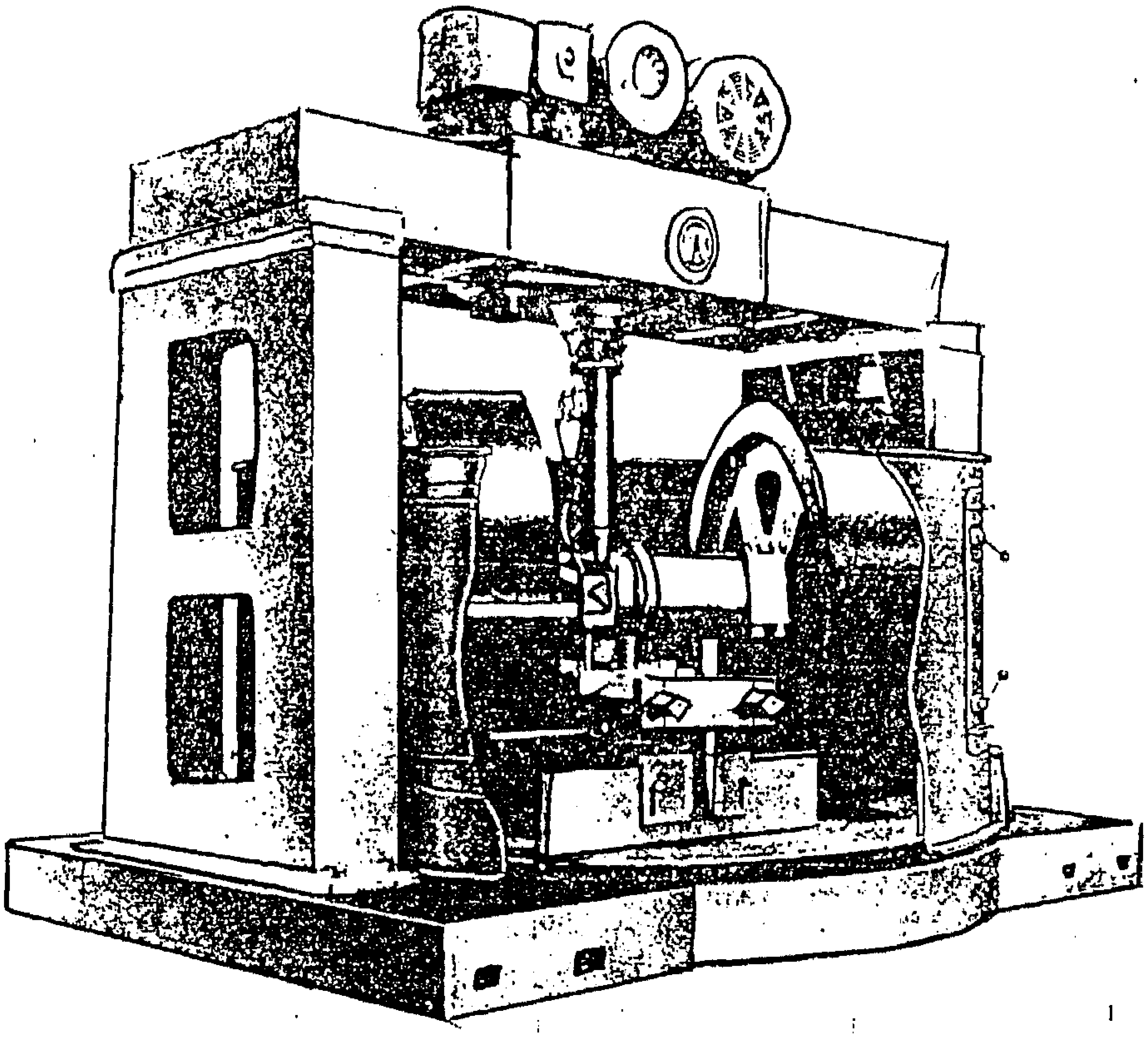
لذا لإعطاء معدل ثابت للمواد الخام التى يجرى طحنها فى طاحونة رحى بطريقة رطبة والتى تتنوع من وقت لأخر تبعا لظروف (يمكن التحكم فيها) مثل نسبة الرطوبة أو صلادة كتل الطفلة وغيرها مما يعطى عدم ثبات لإنتاج منتظم.

لذا فإن مرور الطفلة من الطاحونة مباشرة إلى التشكيل فإن الإنتاج لا يكون بصورة منتظمة وصعب التحكم فيه أو التعديل وذلك لإمكان التنوع فى الطفلة المغذى بها ماكينة التشكيل.

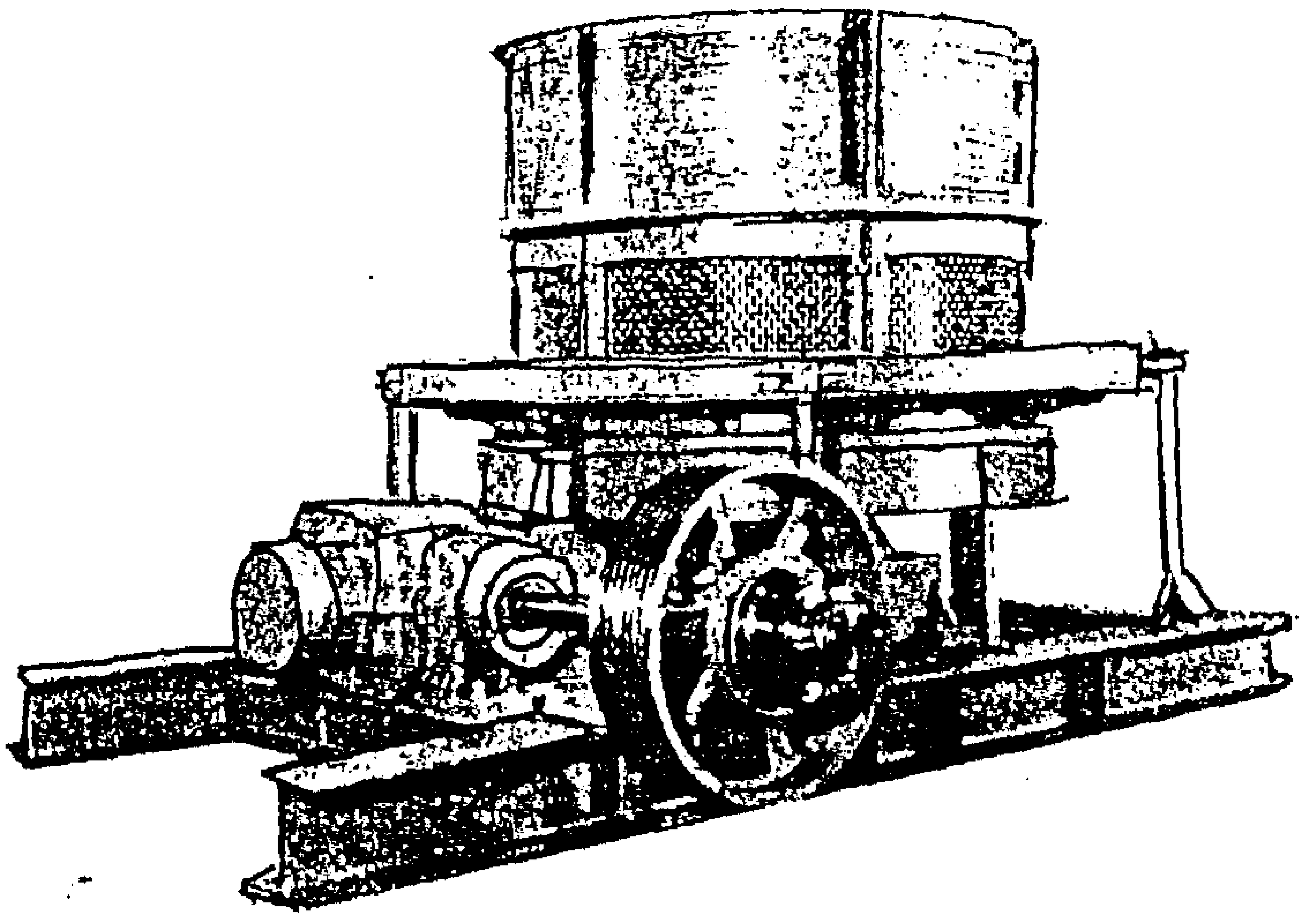
كما أن إستخدام خلاط مزدوج المراوح (بعمودى إدارة) قبل عملية العجن فى ماكينة التشكيل يكون ملائما لضبط التنوع فى التغذية.

كما توجد ماكينة أكثر دقة وذات فاعلية كبيرة فى بداية التشكيل هى فى عملية إعداد إضافية وهى ماكينة الماكرونة، وهى ماكينة تغذية دائرية بالمنخل Circular Screen Feeder شكل رقم (١٨)، تتكون من أسطوانة جزءها الأسفل به ثقوب بالقطر المطلوب، وتضغط المواد الخام من خلالها على شكل (ماكرونة) بواسطة وحدة خلط دواره من المركز، والقطع الناتجة من تلك ا لعملية تجمع على قاعدة دواره لتجرف إلى نقلها إلى عملية التشكيل أو التخزين.

ويمكن التحكم فى معدل إنتاجها بالتحكم فى نسبة الجزء المثقب لإعطاء حجم إنتاج محدد كما يجب الحفاظ على مستوى الطفلة داخل الأسطوانة أعلى من الجزء المثقب للمحافظة على معدل الإنتاج.



شكل رقم (١٧) : طاحونة الرحى بالطريقـة الرطبـة



شكل رقم (١٨) : ماكينة الماكرونة - ماكينة تغذية مستمرة دائرية بالمنخل (Circular Screen Feeder)

# ثانياً: عمليات التشكيل

كما ذكر سابقاً أن طرق التشكيل تختلف وتتنوع من طرق يدوية إلى آلية تماماً حيث تجرى عمليات تطوير وتحسين مستمرة فى العمليات الصناعية وخاصة فى عمليات التشكيل وذلك لتقليل اليد العاملة والجهد والوقت مع زيادة كفاءة الإنتاج.

وسوف يقتصر فى هذا الجزء على طريقة التشكيل بماكينة البثق حيث تعطى إنتاج عالى مع مميزات كثيرة عندما تكون الطفلات ملائمة لخصائص تجفيف عادى تستخدم تلك الطريقة لإعطاء طوب مصمت Solid أو مفرغ Perforated.

## التشكيل بالبثق

عملية البثق هى عملية ضغط للطفلة اللدنة خلال ضبعة لإنتاج عمود من الطفلة يمكن تقطيعه تبعا للطول المطلوب بواسطة سلك بينه مسافات.

وتستخدم تلك الطريقة فى تشكيل نوعيات مختلفة من الطفلات ذات نسبة رطوبة مختلفة لتشكيل جميع أنواع المنتجات الطينية الثقيلة من طوب مصمت أو مثقب أو كتل مفرغه ومواسير الصرف الصحى وبلاط الأرضيات.. وغيرها ويوضح الشكل رقم (١٩) بعض أشكال الطوب المصمت والمثقب.

وتوجد نوعيات ماكينات البثق منها ما يعمل بالدرافيل أو بالحلزون أو البريمة ويعتبر البثق بطريقة الحلزون Screw أو البريمة Auger هى الطريقة العملية والتى تستخدم للبثق اللين بإضافة نسبة ماء ٢٠-٢٥% أو للبثق اليابس Stiff بنسبة رطوبة تصل لحوالى ١٥% وبإستخدام تفريغ الهواء، ولجميع درجات البثق بين تلك الحالتين.

والشكل رقم (٢٠) يوضح مقطع فى ماكينة بثق بإستخدام تفريغ الهواء والتى توضح أجزائها التى تتمثل فى جزء أساسى وهو الأسطوانة به بريمة تلف حول محور أفقى وفى هذا الجزء يتم تغذية الطفلة لتعجن وتدفع بفعل الحلزون لتمر من خلال شبكة مثقبة تعمل على تمزيق الطفلة لتمر فى غرفة تفريغ الهواء والتى توجه إلى الجزء الثانى من الماكينة الذى يعمل على إعادة إدماج الطفلة ودفعها من خلال الضبعة التى تأخذ الشكل المطلوب لمقطع المنتج أن كان طوب مصمت أو مثقب أو كتل مفرغة أو مواسير صرف صحى و.......الخ.

والشكل رقم (٢١) يوضح أربعة تصميمات مختلفة لماكينات البثق مع تفريغ الهواء يوضح إمكانيات التنوع فى التصميم ففى (أ، ب) تتكون الماكينة أساساً من مرحلتى بريمة أو حلزون بينهما

يمكن أن يتم تفريغ الهواء للطفلة المستخدمة أما فى (ج، د) فإن المرحلتين تكون على محور واحد يتم خلالها عملية تفريغ الهواء.

وفى الحالتين فإنه يتم خطوات العجن وتفريغ الهواء والإدماج للطفلة لينتهى إلى دفعها والبثق فى الشكل المطلوب.

وعادة يعرف التفريغ الكامل المطبق للطفلة بحوالى (٢٨ بوصة من الزئبق)

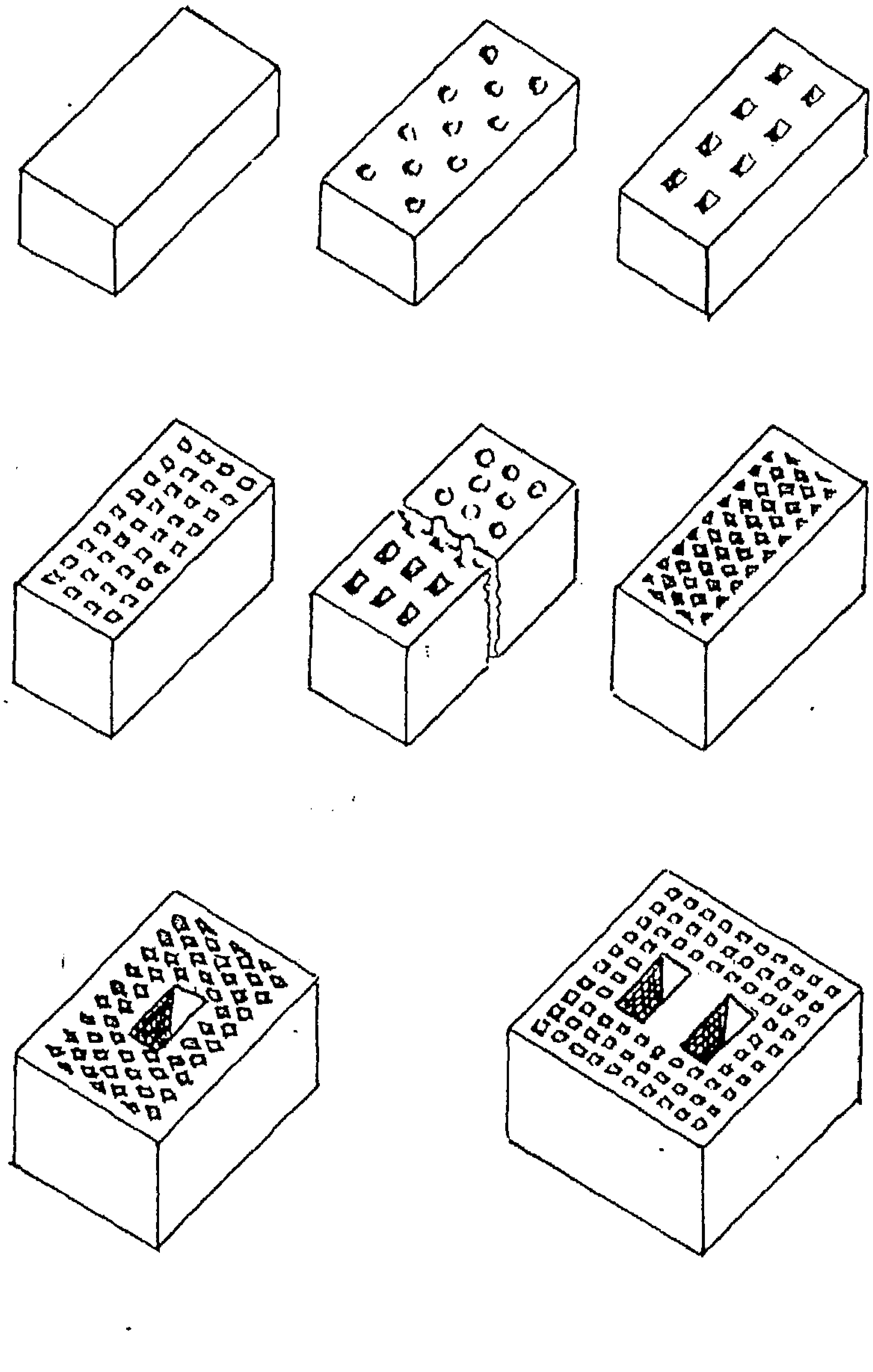
وعادة ما يطبق ذلك بنسبة مئوية من الضغط الجوى ٠,٩ أو ٠,٨، وعند زيادة درجة تفريغ الهواء إلى (التفريغ الكامل) يعمل على زيادة لدونة الطفلة المستخدمه وينتج عمود من الطفلة كثيف وأكثر تيبسا مؤديا إلى طوب محروق أكثر كثافة وأعلى مقاومة للكسر مع درجة من المسامية منخفضة، وبعض الطفلات تعطى عيوب فى البثق عندما يطبق عليها التفريغ الكامل كما يؤدى إلى مشاكل فى التجفيف لذا يتطلب هذا أحياناً إلى تطبيق تفريغ جزئى فقط.

وعامة فإن تلك الماكينات يمكن أن تنتج طوب مصمت أو مثقب أو كتل مفرغة..الخ وذلك بتبديل الضبعة التى فى مقدمة الماكينة والتى تأخذ شكل مقطع المنتج المطلوب لينتج منه شكل مستمر يتم تقطيعه إلى الطول المطلوب.

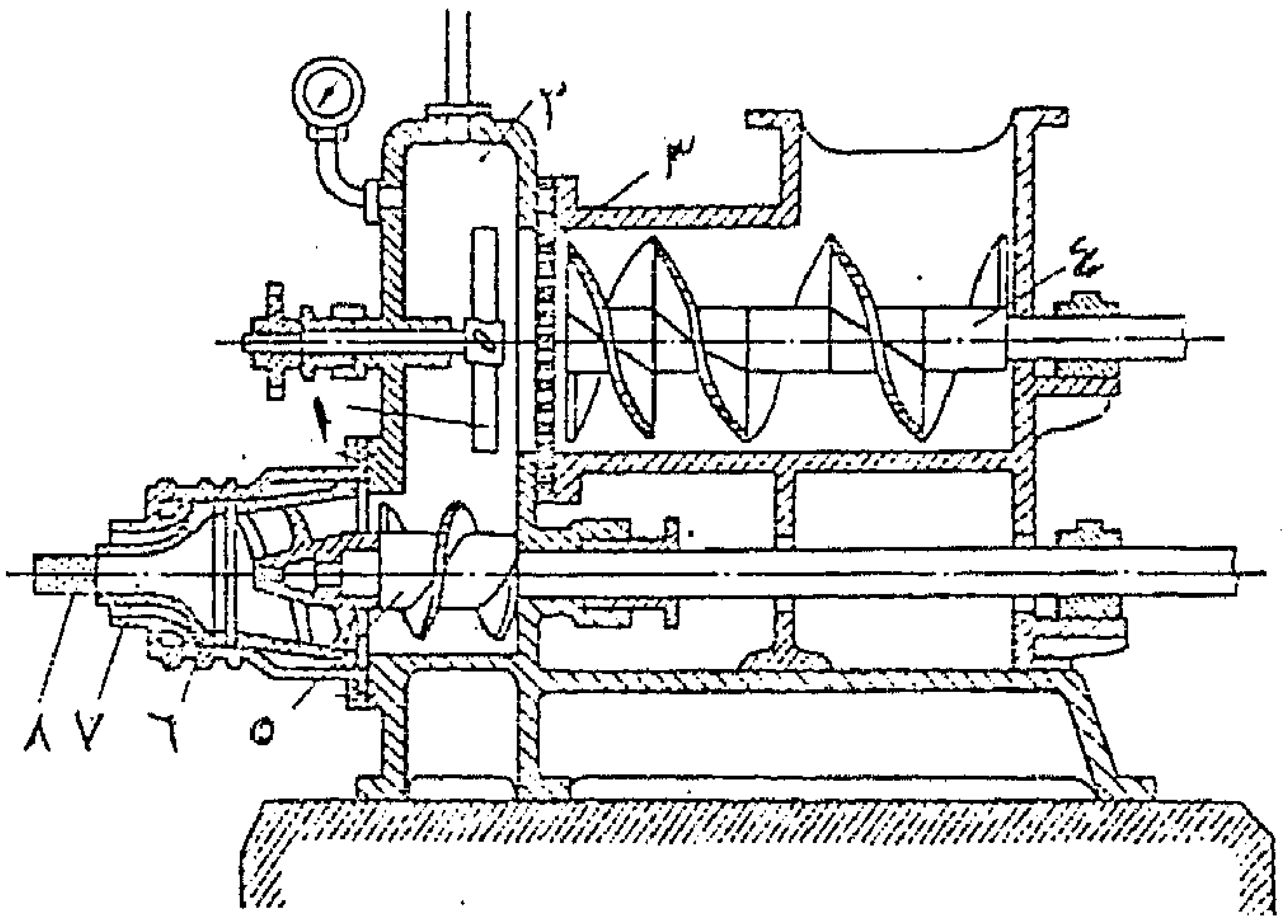
ولإعطاء طوب مثقب أو كتل مفرغة تبثق الطفلة من الضبعة بحيث يكون مثبت بها إجزاء كما فى شكل (٢٢) تعمل على إحداث فراغات فى الشكل الناتج وذلك بأن تثبت تلك الأجزاء فى (كوبرى) فى الجزء الخلفى من الضبعة وبحيث تعمل الأجزاء على ضغط الطفلة بينها لينتج الشكل المطلوب.

وتعطى ماكينات البثق مدى من مقاومة الكسر لطوب الواجهات بطريقة البثق اللين Soft بمقاومة كسر يصل إلى ٢,٠٠٠ رطل/بوصة مربعة إلى طوب إنشاءات بطريقة البثق اليابس Stiff باستخدام تفريغ الهواء ومقاومة كسر تصل إلى عشر أضعاف المقاومة تقريباً.

وعامة تختار المصانع الحديثة الطوب المثقب المصنع بطريقة البثق اليابس وذلك لخصائصه وتميزه فى بعض خواصه، كما أنه يمكن أن يمر فى مراحل التجفيف والحريق بعد التشكيل مباشرة وذلك لاحتوائه على نسبة قليلة من الرطوبة كما أ نه أسهل وأسرع فى عملية تخلصه من نسبة الماء وذلك لوجود الفراغات داخله كذلك فإنه يحتاج إلى وقت أقل فى كل من مرحلتى التجفيف والحريق لذا يكون بكفاءة إنتاج أكبر فهو يقتصد كمية من الوقت بجانب إحتياجه إلى خامة أقل ويكون أيضاً أخف وزنا.... وهذا بجانب مزايا أخرى مما يؤدى إلى تفضيله فى الصناعة وخاصة فى الإنتاج الأكثر آليه.



شكل رقم (١٩) : بعض أشكال الطوب المصمت و المفرغ
المشكل بطريقة البثق



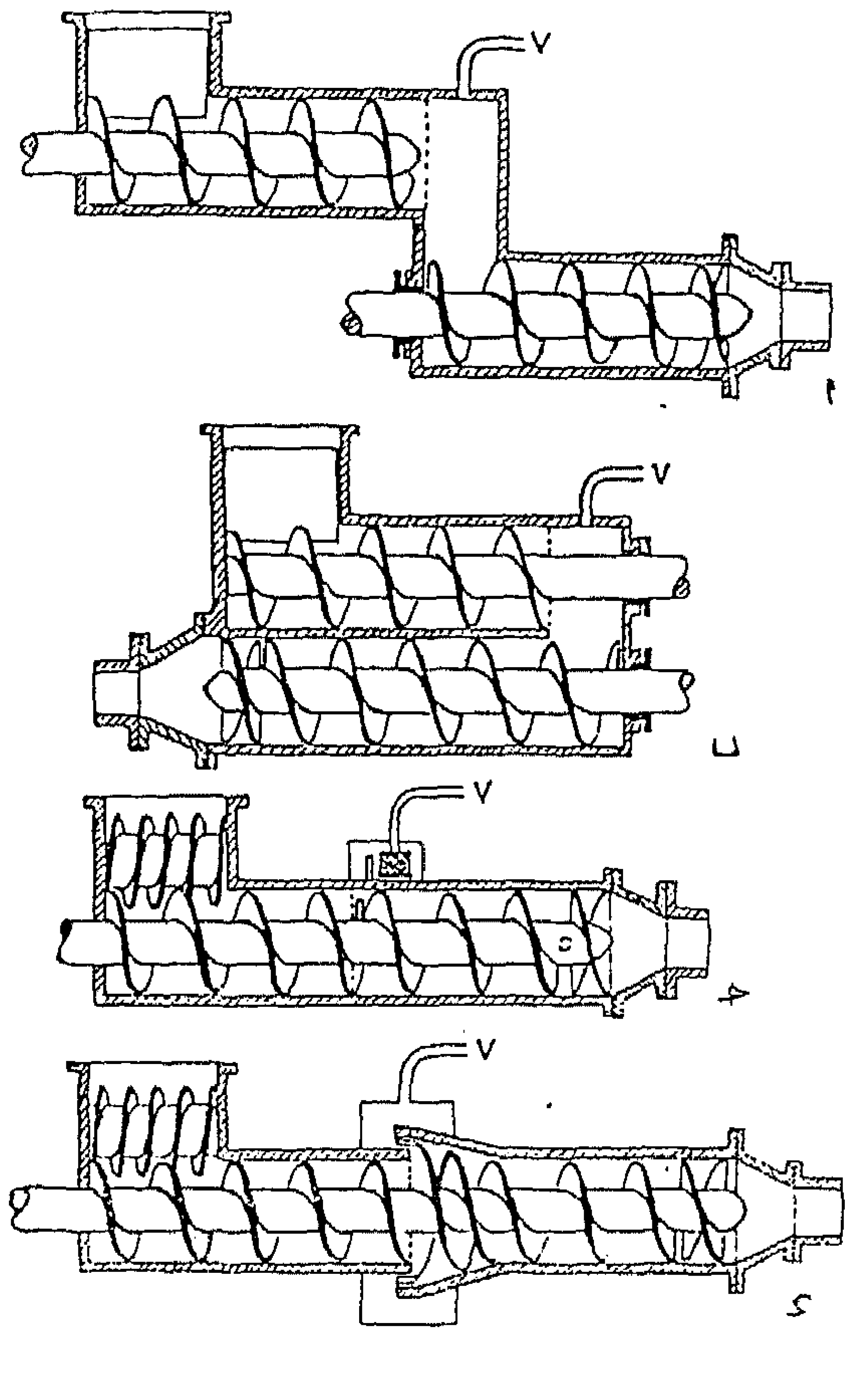

شكل رقم (٢٠) : مقطع فى ماكينة بثق بتفريغ الهواء يوضح

١-سكينة تقطيع    ٢-غرفة تفريغ الهواء

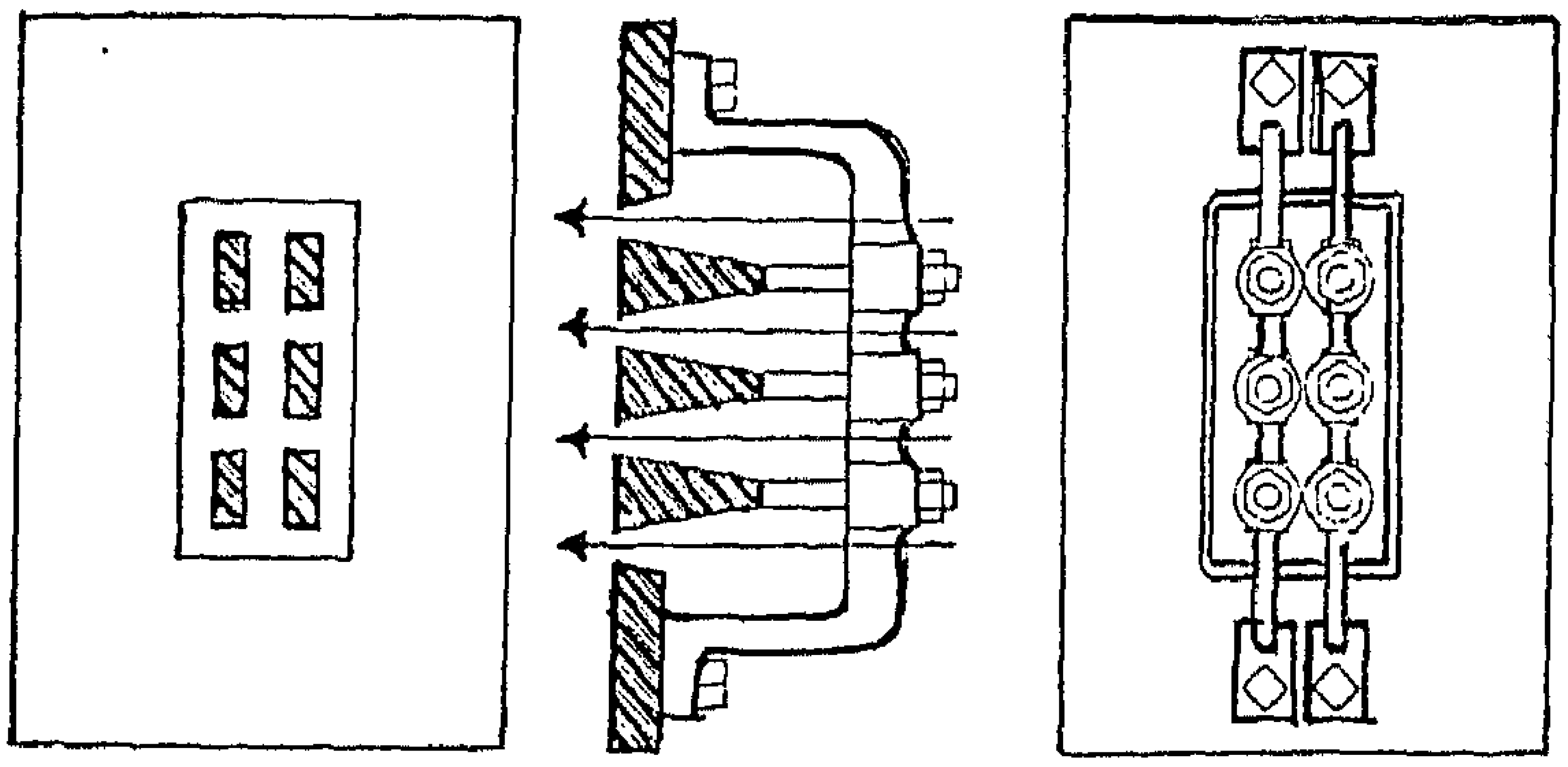
٣-شبكة مثقبة    ٤-عجن الطفـلة

٥-مروحة دافعة    ٦- جـزء الضغط

٧-الضبـعة    ٨-عمود الطفلة الناتج




شكل رقم (٢١) : أربعة تصميمات لماكينة بثق
مزودة بتفريغ الهواء




شكل رقم (٢٢) : ضبعة تشكيل الكتل المفرغة

## كفاءة إنتاج ماكينات البثق

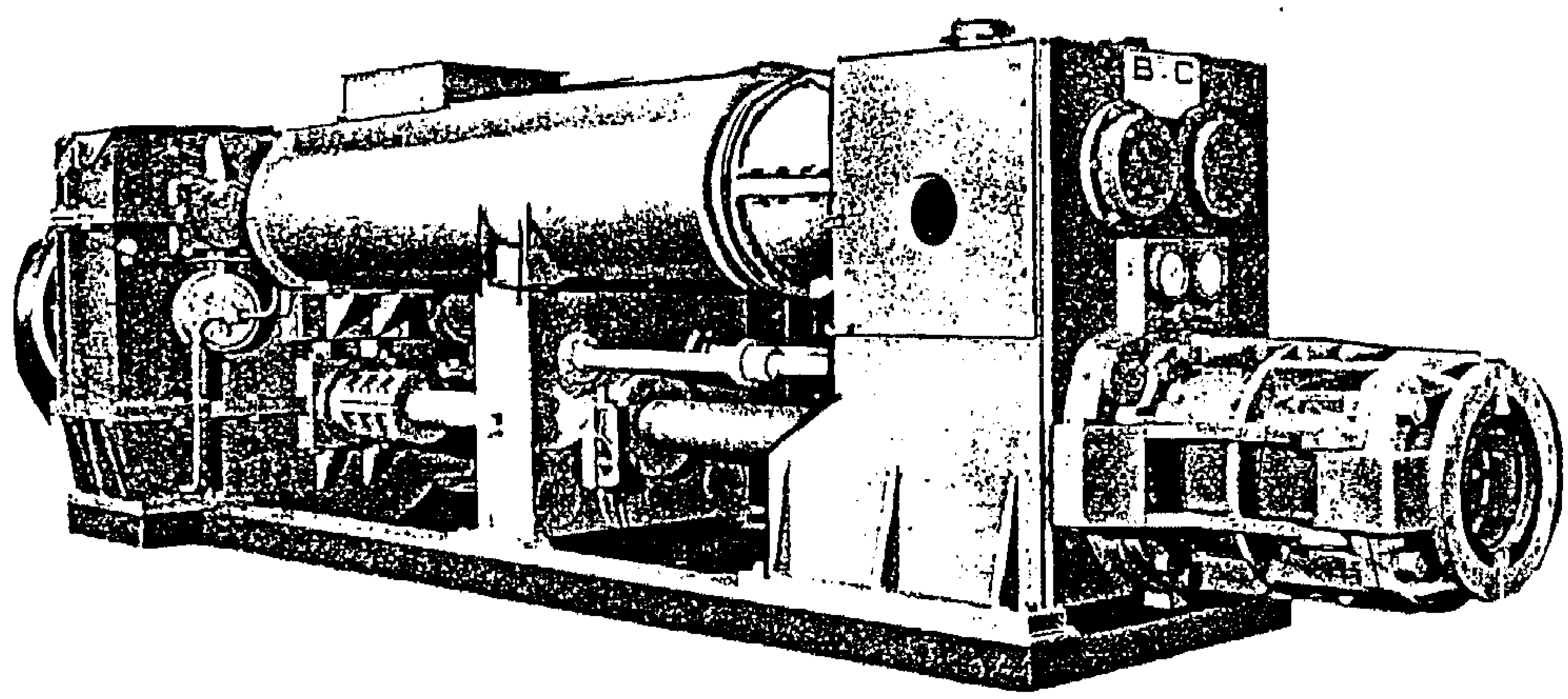
للحصول على نوعية أفضل وكفاءة إنتاج عالية تستخدم الطريقة الميكانيكية بالتشكيل بماكينة البثق حيث تشكل وحدات منتظمة الشكل والمقطع ويمكن تشكيل طوب مفرغ بنفس الماكينة، وتعتبر طريقة البثق هى الطريقة الأقل تكلفة لإنتاج الطوب والبلاط بكميات كبيرة ولإنتاج طوب البناء بطريقة قطع السلك.

وتنتج الماكينات حوالى من ١٠,٠٠٠ طوبة/ساعة وبعض الماكينات الكبيرة يمكن أن تنتج ١٤,٠٠٠ طوبة/ساعة وعامة فإن المتوسط هو إنتاج ٣٠,٠٠٠-٤٠,٠٠٠ طوبة/يوم وقد تصل كفاءة إنتاج بعض الماكينات الكبيرة الحديثة المستخدمة فى أمريكا باستخدام قوة حصان عالية يصل إلى ٦٥٠ حصان فى الماكينات الكبيرة لتعطى معدل إنتاج كبير نسبياً يصل على ٣٠,٠٠٠ وحدات طوب/ساعة وفيما يلى بعض نماذج لماكينات التشكيل بالبثق:

توجد ماكينة بثق مزوده بوحدة تفريغ الهواء للتشكيل اليابس Stiff مع نسبة رطوبة أقل من ١٥% بالنسبة للوزن الجاف وذات كفاءة إنتاج تصل إلى ١٢,٠٠٠ طوبة فى الساعة، والطاقة المتولدة من ماكينة البثق والخلاط حوالى من ٣١٠-٣٥٠ قوة حصان، وعادة ما تستخدم طريقة تفريغ الهواء فى حالة الطفلات منخفضة اللدونة لتعطى جسم أكثر كثافة وأقل درجة فى امتصاص الماء كما يعمل على زيادة مقاومة المنتج للضغط عن المصنع بدون تفريغ هواء (بنفس الخامة).

وشكل رقم (٢٣): يوضح نموذج لماكينة بثق تعطى كفاءة عالية فى الإنتاج وتصميم مزود بخلاط مزدوج المراوح.

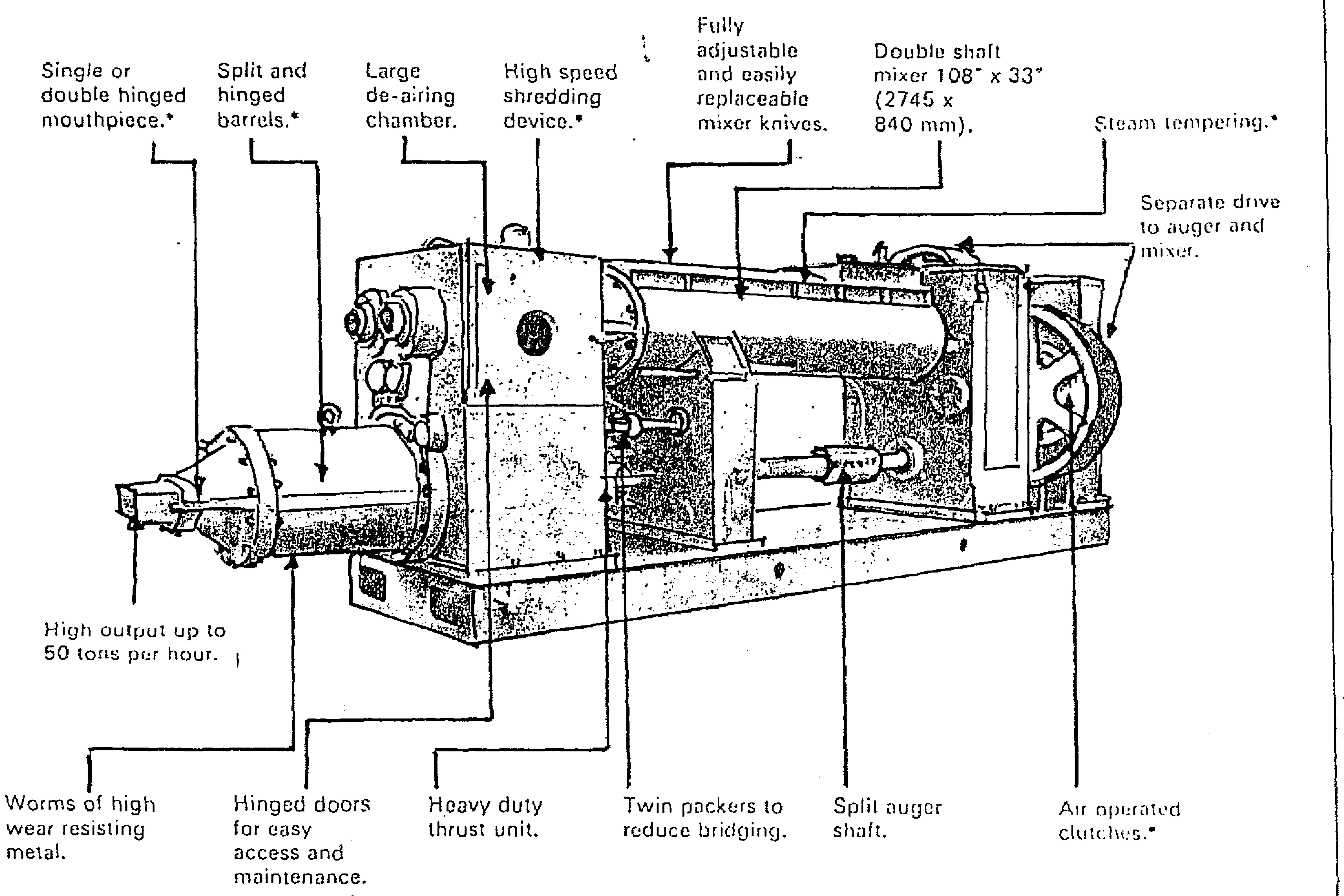
وشكل رقم (٢٤): يوضح أجزاء ماكينة البثق المزوده بخلاط مزدوج المراوح.




شكل رقم (٢٣) : نموذج لماكينة بثق ذات كفاءة عالية
و مزودة بخلاط مزدوج المراوح

AUGER WITH COMBINED DOUBLE MIXER.

Suitable for producing solid or perforated bricks, hollow blocks or pipes at high capacity.




شكل رقم (٢٤) يوضح أجزاء ماكينة البثق المزودة بخلاط مزدوج المراوح

## عمليات الرص والنقل بعد التشكيل إلى التجفيف والحريق

ينبغى أن يكون الطوب بقوة ملائمة بحيث يكون سهل التداول وخاصة قبل الحريق، هذا لتقليل نسبة الفاقد فى الإنتاج فى تلك الخطوة مع ملافاة عيوب التشوه والاعوجاج التى تحدث عندما تكون الطوبة لينة أو فى عمليات الرص الخطأ أو أثناء النقل والذى يسبب أيضا تشوه فى شكل الطوب المنتظم.

وعامة يرص الطوب على حوامل خشبية أو معدنية يمكن نقلها آليا إلى أماكن التجفف كما يمكن أن تنقل بواسطة عربات تدفع باليد أو بطريقة آلية إلى داخل المجففات أو الأفران، ويوجد فى بعض المصانع الحديثة نقل آلى لتلك العربات أو أن ينقل الطوب داخل الأفران بواسطة سيور ناقله.

أما فى المصانع الصغيرة لا يستخدم أجهزة تحميل الألواح ولكن تحمل يدوياً على ألواح خشبية أو معدنية مرصوصه فى (مدماك) واحد فقط أى صف واحد فقط ويمكن أن تكون فى حجم يسمح بنقلها يدوياً إلى العربات لتنقل إلى رحلة التجفيف بالهواء أو بالمجففات الصناعية.

ويفضل فى المصانع التى تستخدم الأفران النفقية أن يتم التشكيل لطفلة يابسه إن أمكن، ويرص الطوب مباشرة على العربات الخاصة بالحريق ويجفف فى مجفف نفقى يتم تسخينه بالحرارة المفقودة من الأفران ثم يحرق فى فرن نفقى.

## ثالثاً: التجفيف

### مقدمـــــة

التجفيف أحد المراحل الهامة فى صناعة المنتجات الخزفية عامة وذلك للتخلص من الماء الزائد بدون أن تحدث إجهادات كبيرة تكون كافية لحدوث عيوب الجسم من إلتواء أو شرخ أو كسر، وأغلب تلك العيوب لا تظهر إلا بعد مرحلة الحريق.

يبدأ عملية التجفيف من سطح المنتج ثم يتجه نسبة الماء الموجودة بداخل المنتج بالتدريج إلى السطح الخارجى ليتبخر، هذا نتيجة إختلاف وتدرج نسبة الرطوبة بين سطح الجسم وداخله.

وفى التجفيف السريع يجف الماء من سطح المنتج سريعا وتتدرج الرطوبة مندفعة بقوة إلى السطح ويعنى هذا أن تميل الرطوبة الداخلية إلى التحرك بسرعة تجاه السطح الخارجى ويوضح الشكل رقم (٢٥) الفرق فى نسب الرطوبة فى الجسم تبعاً لاختلاف معدل التجفيف وهذا بين تجفيف سريع وآخر بطئ لبعض القوالب المصنوعة من الطين سمك بوصة واحدة.

والملاحظ من الشكل أنه فى التجفيف البطئ عدم الاختلاف الكبير فى نسب الرطوبة فى الأجزاء المختلفة من سمك البلاطة، أما فى التجفيف السريع يلاحظ الاختلاف الكبير بين درجات الرطوبة والواضح فى (بعد ساعة) و (بعد ساعتين) مما قد يسبب فى عيوب التجفيف.

### ميكانيكية التجفيف

لمعرافة مراحل تجفيف الطفلة يجب معرفة نظام إمتصاص الطفلة للماء حيث يقسم الماء فى نظام (طفلة ماء) إلى بعض النوعيات المميزة من:

١) ماء ممتز Adsorbed Water

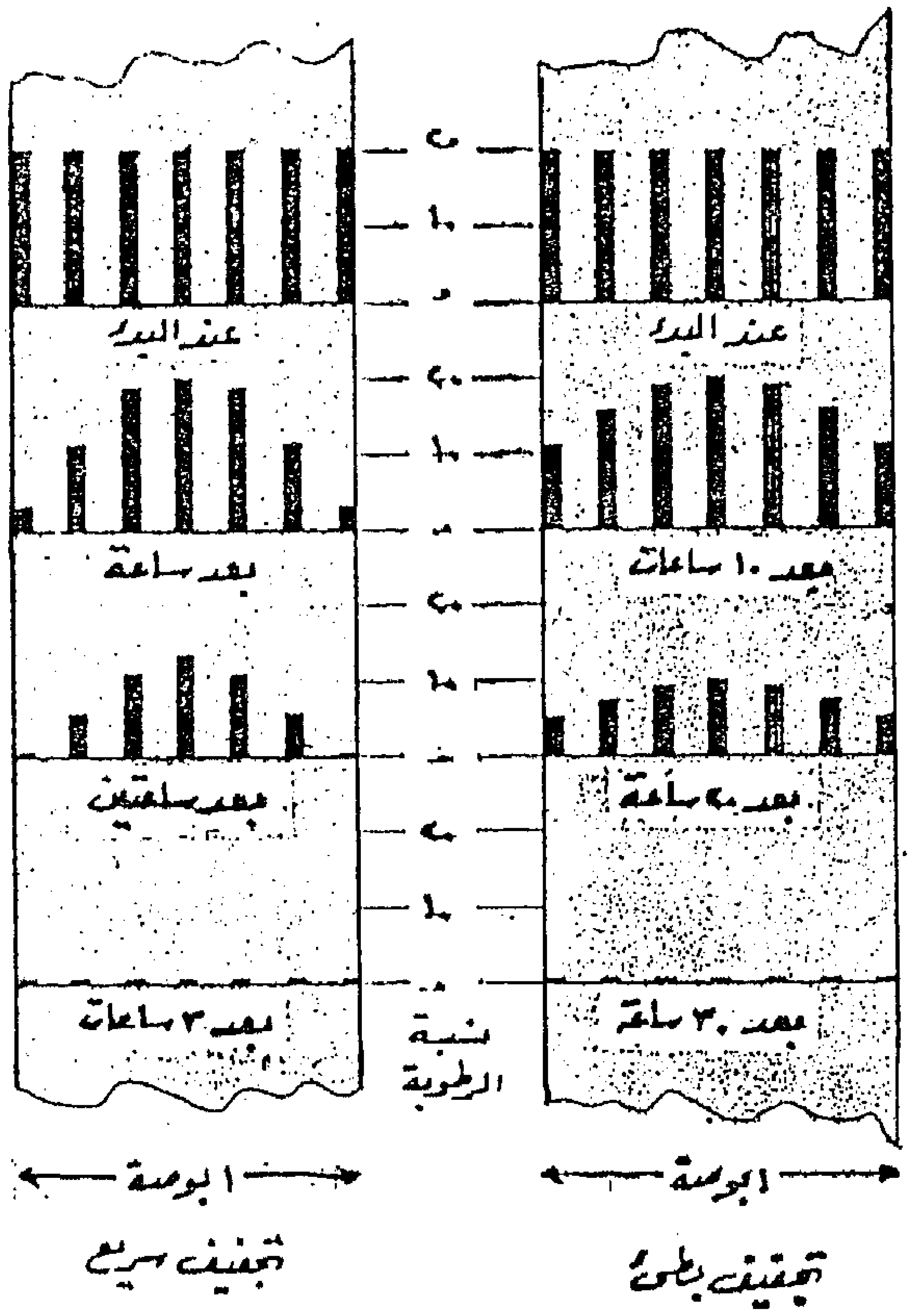
٢) ماء الإنكماش Shrinkage Water

٣) ماء المسام Pore Water

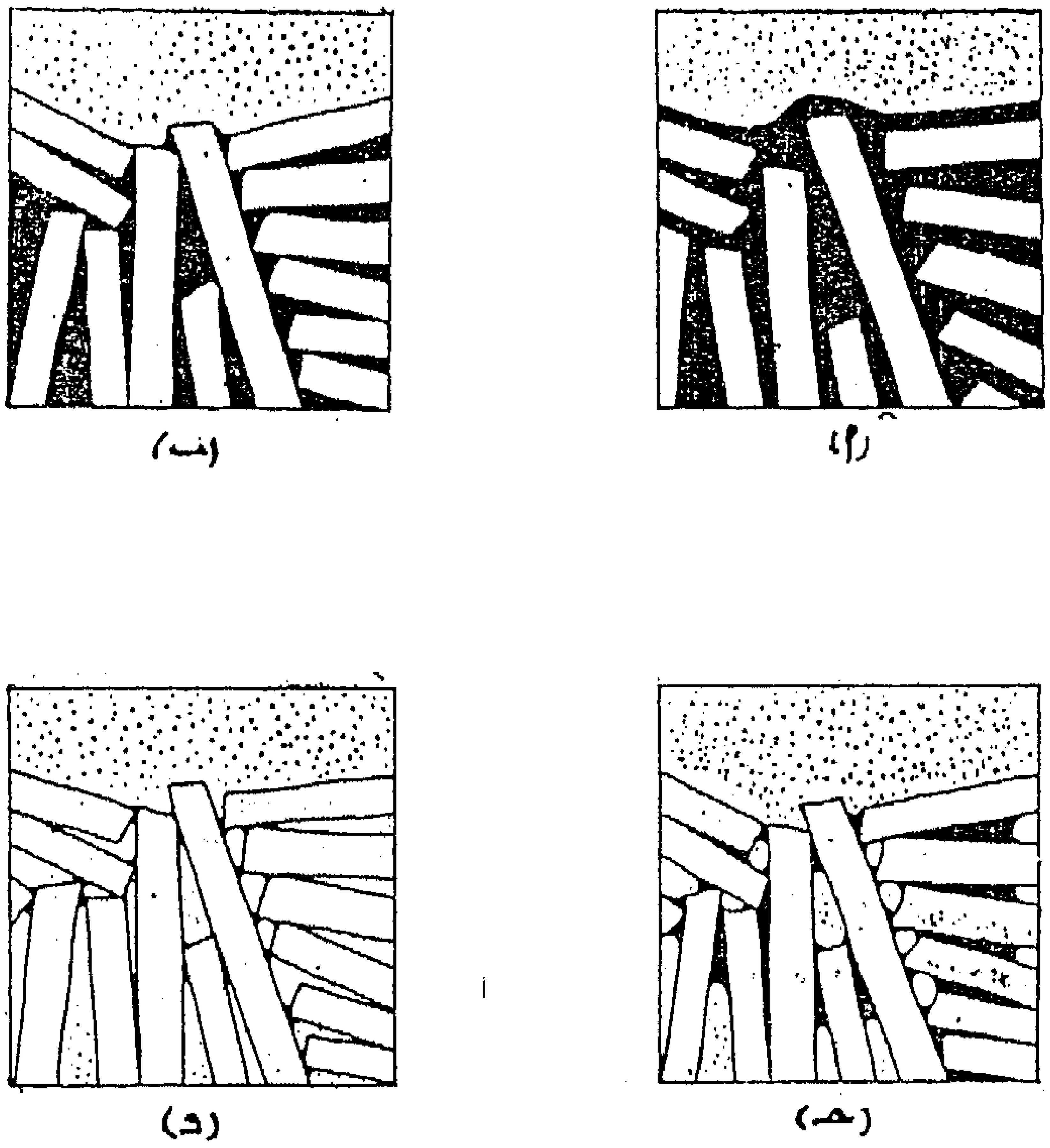
٤) ماء الشبكة الفراغية Grystal Iattice Water

ويتم التخلص من تلك النوعيات أثناء عمليات التجفيف فى مراحل متتابعة.

أول نسبة من الماء تفقد أثناء عملية التجفيف هى نسبة (الماء الممتز) التى بين شرائح الطفلة الموضحة فى شكل رقم (٢٦ أ) ويستمر التجفيف إلى أن تقترب الشرائح من بعضها البعض وتختفى أغشية الماء وتصبح الطفلة فى حالة تسمى (صلادة الجلد) وهى درجة تشبه صلادة المطاط. وتحتوى الطفلة فيما بين حبيباتها على نسبة من الماء تصل إلى نصف النسبة الكلية والموضحة فى (ب) ويحدث فى تلك الحالة إنكماش الجسم حيث تتلاصق الحبيبات بخروج الماء ا لممتز ويبدأ (ماء الإنكماش) فى الخروج.




شكل رقم (٢٥) : مقارنة توزيع الرطوبة داخل قالب من الطفلة
سمـك بوصة واحدة ، و ذلك أثنـاء عمـليتى
تجفيف بطئ وتجفيف سريع




شكل رقم (٢٦) : مـراحل تجـفيف الطفـلة

ثم يبدأ الماء فى الفراغات بين الحبيبات فى الخروج والذى يسمى (ماء المسام) شكل (جـ) ويتم ذلك ببطء ويكون التجفيف داخلى أكثر من سطحى، ويوضح الشكل (د) حبيبات الطفلة بعد التجفيف.

أما (ماء الشبكة الفراغية) فإنه يوجد ما بين طبقات الشبكة الفراغية لبلورات الطفلة فى ثلاث طبقات وهذا يؤدى إلى تمدد فى حجم البلورة وعند فقد هذا الماء بالتجفيف ترجع البلورة إلى حجمها الطبيعى مؤديه إلى إنكماش فى الكتلة الكلية، وتلك النسبة تعتبر صغيرة فى منتجات الكاولينيت ويكون تأثيرها ليس كبيراً.

وتتوقف الدرجة التى يصل إليها التجفيف أثناء المرحلة الأولى أو مرحلة الإنكماش على:

١- درجة الحرارة المحيطة بالمنتج.

٢- درجة الرطوبة فى الهواء المحيط.

٣- سرعة تحرك الهواء من حوله.

ففى التجفيف السريع يكون الهواء ساخناً وجافا وسريع الحركة والعكس فى التجفيف البطئ يمكن أن يتم تجفيف بمعدل سريع (نسبياً) فى مرحلة خروج الماء الممتز على أن تصل بالجسم إلى صلادة الجلد ثم يبطأ معدل التجفيف حتى تجف القطعة نهائيا – والشكل رقم (٢٧) يوضح العلاقة بين معدل التجفيف وزمن التجفيف.

وينبغى ألا تصل بالتجفيف إلى درجة رطوبة صفر ولكن يجرى التجفيف لبعض درجات بعد حالة (صلادة الجلد) إلى أن يتوقف أغلب الإنكماش، ويتم التخلص من الرطوبة المتبقية فى بداية دورة الحريق حيث يؤدى الجفاف التام إلى عيوب فى المنتج حيث يصبح هش وسهل الكسر والتعريض للشرخ كما أن المنتج يعود إلى إمتصاص نسبة رطوبة من الهواء المحيط، وفى بعض المواد الخام يؤدى إعادة امتصاص الماء إلى حدوث شرخ يتضح بعد الحريق.

## الإنكماش الناتج عن عملية التجفيف

يرجع الإنكماش المصاحب لعملية التجفيف إلى فقدان أغشية الماء الرقيقة التى توجد بين دقائق الطفلة تدريجياً، وكلما كانت دقائق الطفلة ناعمة كلما إزداد السطح المغطى بأغشية الماء وبالتالى كلما إرتفعت نسبة الإنكماش نتيجة لفقد نسبة الماء بالجسم لذا فإن إضافة بعض المواد الخشنة مثل الفلسبار أو الكوارتز يعمل على خفض درجة الإنكماش وذلك للكبر النسبى لحجم الدقائق، ويتضح هذا فى شكل (٢٨) فى مقارنة بين تجفيف طفلة فقط وبين طفلة مع مواد غير لدنة.

وعامة فإن درجة الإنكماش تتم فى المرحلة الأولى من دورة التجفيف وبعد الوصول إلى مرحلة صلادة الجلد يكون التغيير فى الحجم قليلا شكل رقم (٢٩) حيث تصبح الدقائق بعد ذلك متماسة وتكون نسبة الماء المتبقية تقع بين المسام.

## أسباب الإلتواء والتشقق أثناء عملية التجفيف

توجد أسباب مختلفة لحدوث الإلتواء والتشقق الذى يحدث نتيجة لتعرض الطفلة إلى إجهادات ناشئة عن الجفاف أكثر من تحملها، ولكن توجد ثلاثة أسباب رئيسية تؤثر على المنتج أثناء عملية التجفيف.

### ١- عدم تجانس البنية

ينشأ ذلك عن عدم تجانس الخلط أو عدم التوزيع الجيد لنسبة الماء فى الجسم.

### ٢- إختلاف الضغط

فى أجزاء الجسم أثناء عمليات التشكيل والنقل

### ٣- عدم إنتظام التجفيف

بالنسبة للسطح وهذا من الأسباب الشائعة الحدوث والغالبة فى حدوث الإلتواء والتشقق.

## طرق التجفيف

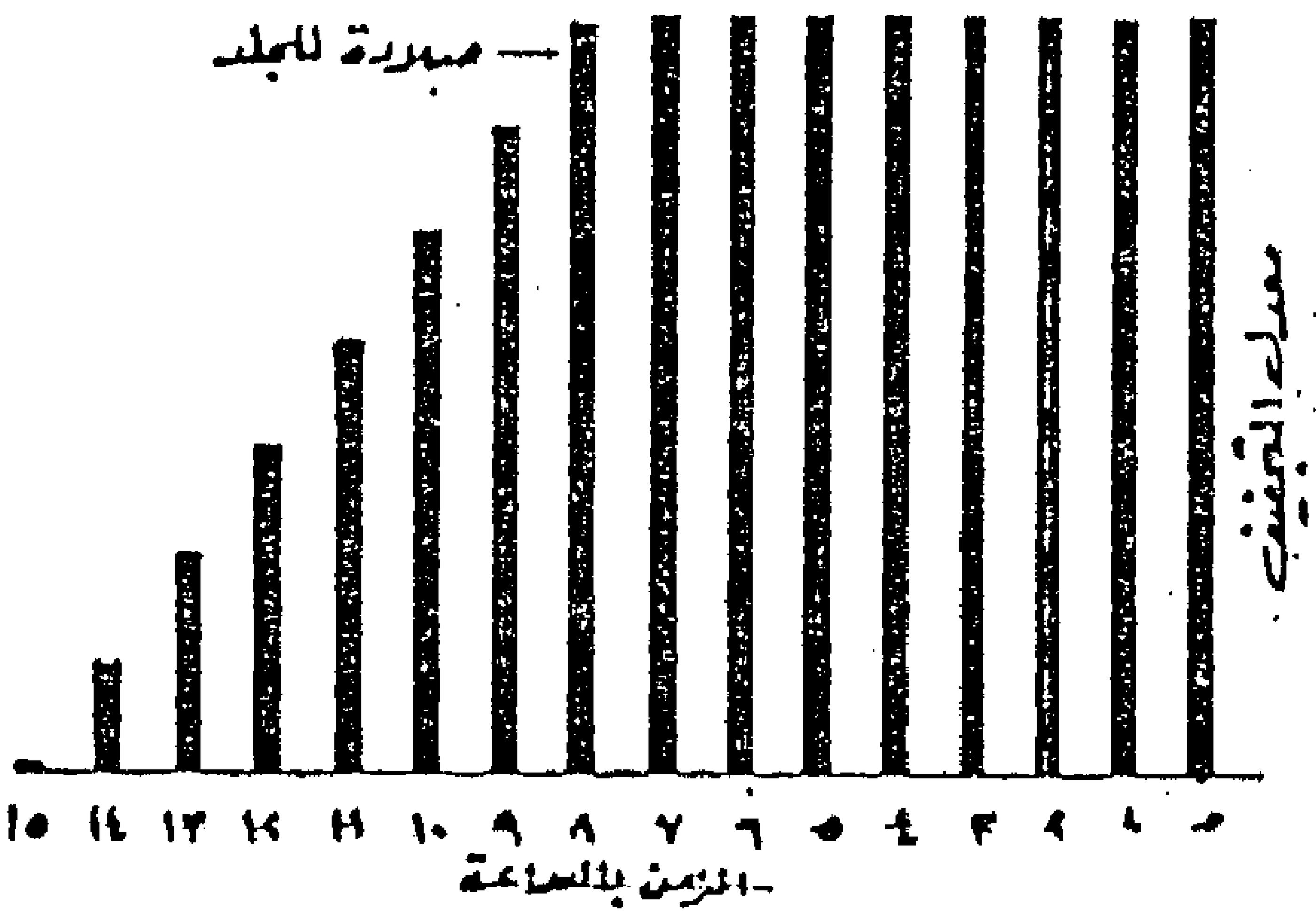
### يحتاج التجفيف إلى ثلاثة عمليات

١- نقل الحرارة إلى المنتج.
٢- تبخير السائل من المنتج
٣- التخلص المستمر من بخار الماء المتكون.

والطريقة الشائعة الإستخدام فى تجفيف طوب البناء فى مصر هى تجفيفه فى الهواء (تحت سقايف أو مظلات) ويحتاج هذا إلى متابعة وعمالة كبيرة فى تغيير وضع الطوب ليتساوى تجفيف الأسطح وملافاة التشقق والإعوجاج الناتج عن التجفيف غير المنتظم، كما يحتاج هذا إلى فترة زمنية كبيرة نسبياً ويمكن التحكم والتغلب على عيوب تلك الطرق بإستخدام بعض المجففات الصناعية الملائمة.

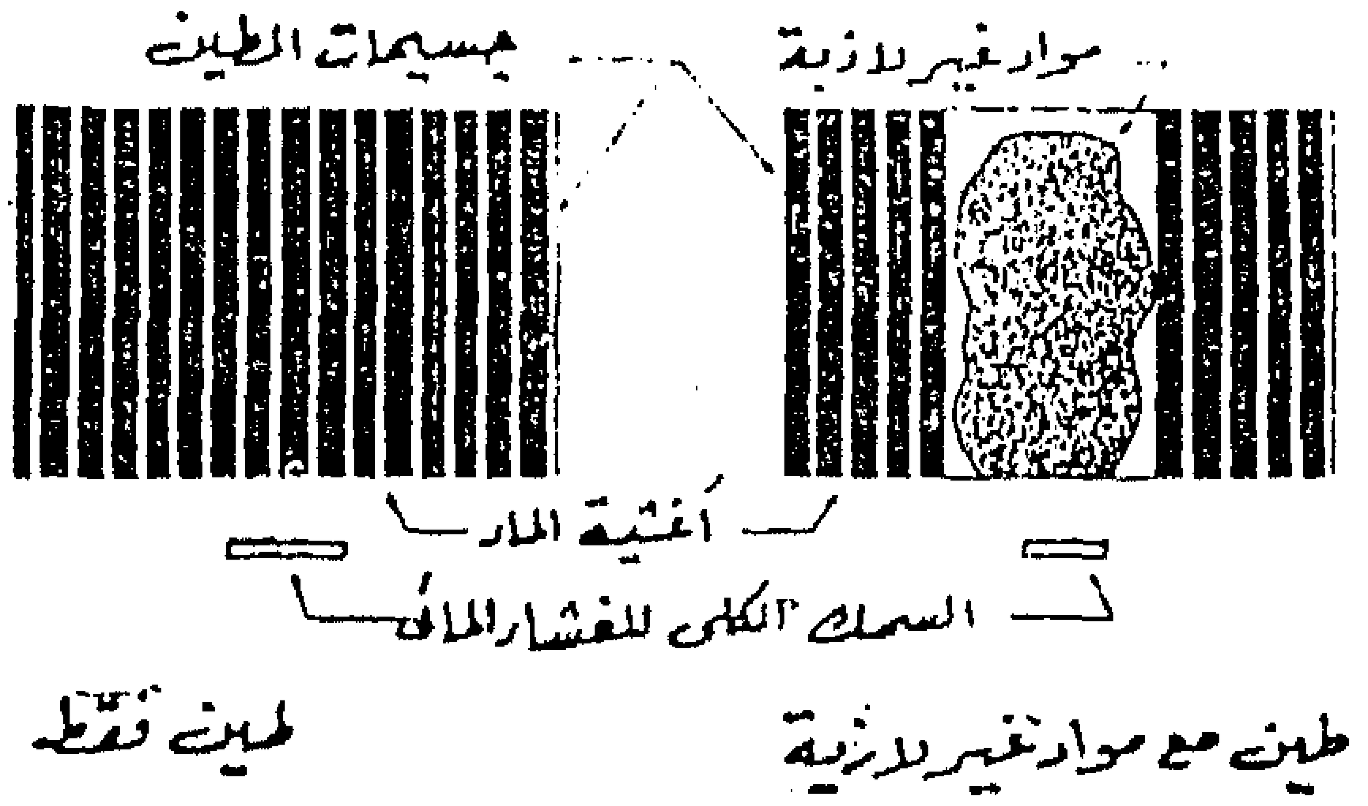
### مجففات بدون تسخين Unheated Dryers

تجفف أكثر المنتجات الطينية الثقيلة بسهولة فى مناخ جاف دافئ عندما تترك معرضة للهواء، مع مراعـــاة تجنب التجفيف السريـــع وغير المنتظم لملافاة عيوبه وقد يحتاج ذلك إلى أسقـــف لتظلل

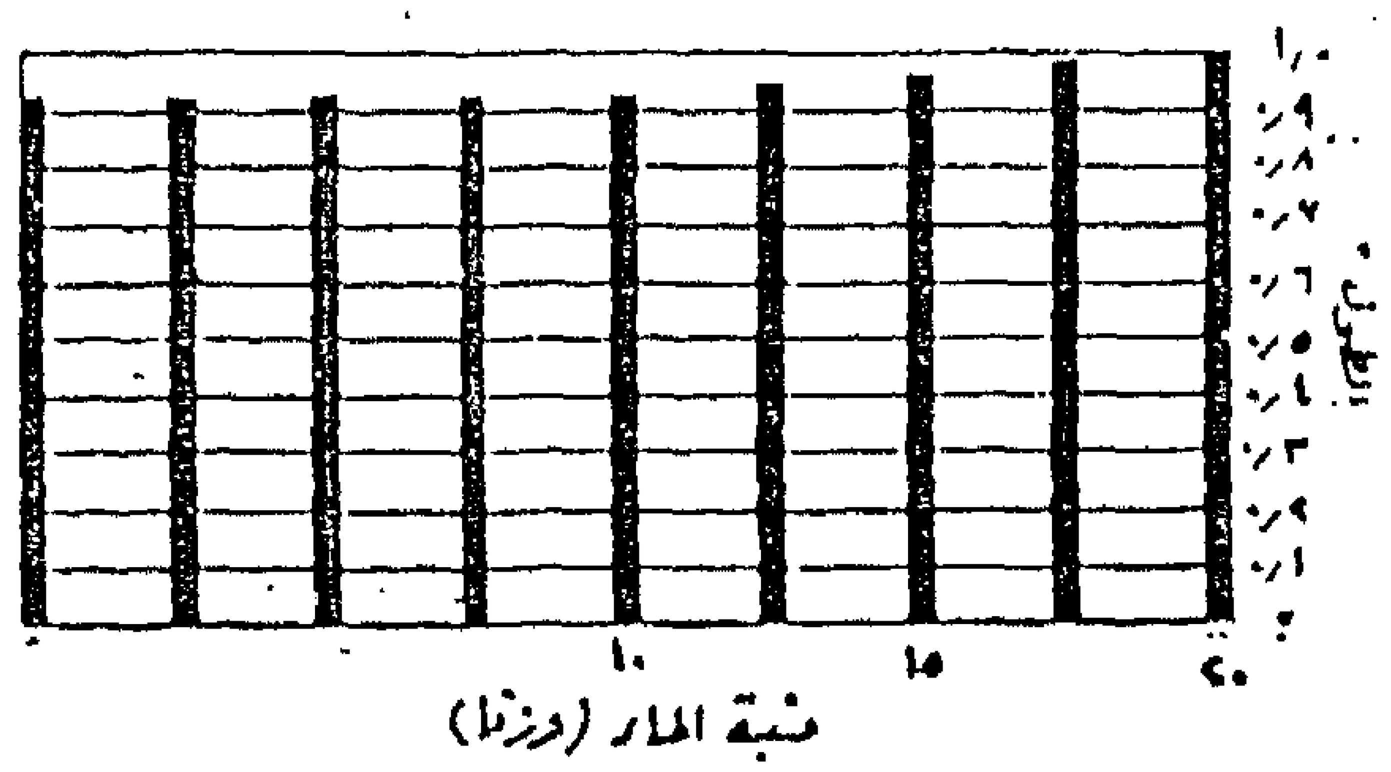



شكل رقم (٢٧) : بيان بتغير معدل تجفيف الطفلة الرطبة

بزمن التجفيف




شكل رقم (٢٨) : تأثير وجود المواد غير اللدنة على نقص درجة إنكماش التجفيف




شكل رفم (٢٩) : تغير الطول بالتجفيف

المنتجات وخاصة فى المراحل الأولى من التجفف، كما أنه يجب أن يظل فى المواسم الممطرة ويعزل لوقايته من المطر، ويمكن لذلك إستخدام مظلات ثابتة قليلة التكلفة.

ويستخدم للتجفيف ألواح خاصة يرص عليها الطوب ليترك ليجف ويوضع الطوب على الجانب الأقل سمكا – يرص الطوب فى شكل حوائط وبعد فترة من الزمن يعاد رصها بعمل قنوات بزوايا قائمة تمر من خلالها.

وتستغرق عملية التجفيف فترة كبيرة (حوالى ١٠ أيام) معتمد ذلك على طبيعة الطفلة المستخدمة والخامات المضافة – وتتطلب تلك الطريقة أيضا إلى مكان كبير وعماله كثيرة.

وبينما يعتبر الوقود المستخدم فى المجففات الصناعية كثير التكلفة إلا أنه ليس من الاقتصاد أن تستخدم طرق التجفيف الطبيعية حيث تتطلب مكان كبير وعماله كثيرة ويستغرق فترة كبيرة من الزمن.

## مجففات بالتسخين Heated Dryers

يمكن أن تجفف المنتجات فى مجففات صناعية يستخدم فيها التسخين بالحمل الحرارى Convection بواسطة أنابيب بخار مثقبة فى قاعدة وحوائط المجفف أو بواسطة هواء ساخن أو غازات ناتجة من أفران الحريق وتنقسم أنواع المجففات تبعا لطريقة نقل الحرارة إلى المنتج إلى مجففات مباشرة أو مجففات غير مباشرة.

### والمجففات التى تلائم تجفيف طوب البناء هى:

المجففات المباشرة Direct Dryers

١- تنقل الحرارة اللازمة للتجفيف بالاتصال المباشر مع الجسم الرطب المراد تجفيفه، بواسطة الهواء أو الغازات الساخنة.

٢- يطرد السائل المتبخر بواسطة وسيلة التسخين وفى نفس الوقت (أى مع الهواء أو الغازات الساخنة التى تستخدم فى التسخين).

٣- يمكن تسمية المجففات المباشرة بإستخدام الغازات الساخنة بمجففات الحمل Convection Dryers.

### يمكن تلخيص الخواص الهامة للمجففات المباشرة فى:

١- يعتمد التجفيف على توصيل الحرارة للمادة الرطبة بواسطة غاز ساخن والذى يطرد بواسطته ومعه السائل المتبخر.

٢- الغازات الساخنة إما أن تكون بخار ماء أو هواء ساخن أو عادم حريق أو بخار مشبع.

٣- فى المجفف المباشر كلما كانت نسبة الرطوبة النهائية المطلوبة أقل كلما زاد استهلاك الوقود بالنسبة لكل رطل مبخر.

٤- تزداد كفاءة المجفف المباشر بإرتفاع درجة الحرارة للغاز المسخن مع ثبات درجة حرارة العادم الناتج.

وتنقسم تلك المجففات إلى

١- مجففات متقطعة (الدفعات).

٢- مجففات مستمرة.

## ١- المجففات المتقطعة (الدفعات) Batch Dryers

مثل مجففات الصوانى Trays أو الغرف Chambers وهذه المجففات مصممة على أساس أن تقوم بتجفيف شحنة معينة فى وقت محدد، وفى مثل هذه المجففات يلاحظ تغيير ظروف كمية الرطوبة بدرجة الحرارة فى المناطق المختلفة من المجفف.

## ٢- المجففات المستمرة Continuous Dryers

مثل المجففات النفقية Tunnel، تستمر فيها عملية التجفيف بدون إنقطاع طالما أن تغذية المجفف بالمواد أو المنتجات المراد تجفيفها مستمرة، ومن الواضح أنه يمكن إستخدام المجفف المستمر كمجفف متقطع إذا تطلب هذا.

### (١) مجففات الدفعات Batch Dryers

### مجفف الأرضية المسخنة Hot Floor

يرص الطوب فى طبقة منفردة على أرضية مسخنة بواسطة أنابيب بخار أو بالحرارة المفقودة من الأفران وعندما تقترب المنتجات من صلادة الجلد Leather-Hardness تكدس فى رفوف متراصة فى تنظيم أو ترتيب (مفتوح) فى أحد نهايات الأرضية ليعمل كغرفة للطوب الأكثر رطوبة ويترك إلى أن يجف ويصبح بنسبة رطوبة مساوية لما هو فى الجو المحيط.

ومن مميزات تلك المجففات

سهولة ملاحظة ظروف المنتجات وسهولة الصيانة ولكن تشمل ذلك عيوب مثل كبر المساحة المتطلبة والعمالة الكثيرة وكفاءة الوقود منخفضة، كما أنه يعتبر التجفيف بتلك الطريقة غير منتظم

حيث يتعرض السطح الملاصق للأرضية المسخنة لدرجة حرارة أكبر بحوالى ١٠-٢٠°م عن السطح الأعلى وكثيراً ما يؤدى ذلك إلى فاقد كبير.

## مجففات الغرف أو الممرات Corridor

يمكن بناء مجففات الغرف للدفعات بأى حجم أو كمية أو نوع المنتج مع التحكم فى درجة الحرارة والرطوبة وعادة ما يأخذ مجفف الغرف شكل النفق بطول ملائم وبعض أبعاد تلك المجففات (عرض حوالى ١,٤م والطول ١٢,٢م والإرتفاع ١,٨م) ويعتبر الجزء الهام فى تلك المجففات هو عملية التداول ورص المنتجات بداخله، تبنى مجففات الغرف أو الممرات بأبواب عند كل نهاية وبحواجز على جانبى المجفف من الداخل بطول الممر كله وبحوالى عرض ١٥ سم. (شكل رقم ٣٠) وتوضع قوالب الطوب على ألواح بنفس عرض الممر، والتى تحمل آلياً بواسطة عربة Finger car ، حيث تنقل الألواح فوق ١٠ حوامل على إرتفاعات مختلفة كارتفاعات الحواجز المثبتة فى جوانب المجفف من الداخل. كما تنقل العربة آليا أيضاً إلى أن تصل محملة بالألواح إلى الحواجز لتوضع عليها.

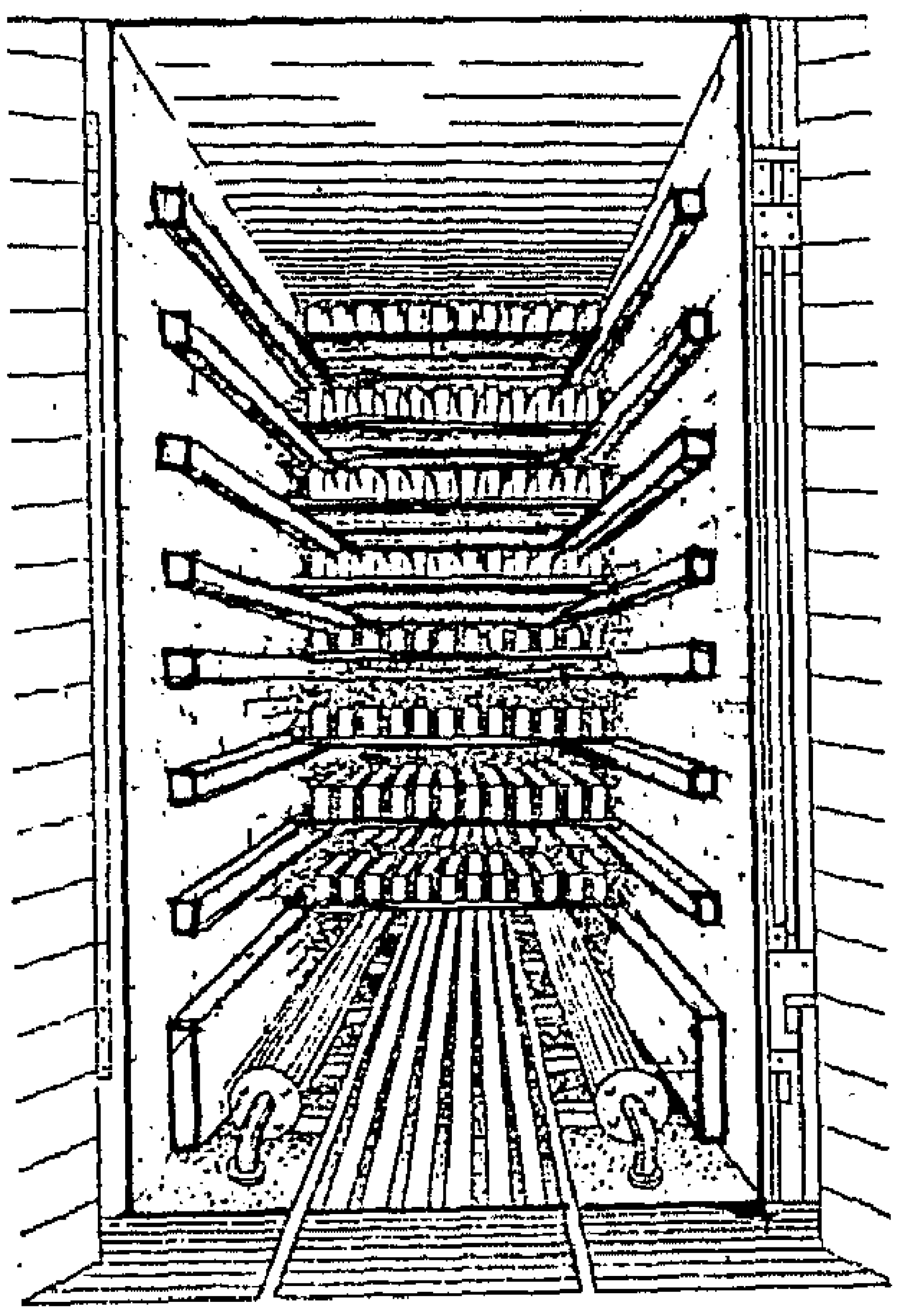
وبعد ما تتم عملية التجفيف تنقل المنتجات الجافة بنفس الطريقة من النهاية الأخرى للمجفف (شكل رقم ٣١) وفى بعض المجففات يتم رص المنتجات على عربات تترك داخل المجفف أثناء عملية التجفيف.

وتتحدد مراحل التجفيف وعدد فتحات دخول الهواء وخروجه وعدد الغرف المكونة لوحدة التجفيف تبعا لنوع المنتج المطلوب تجفيفه، ويمكن فى تلك ا لمجففات التأكد من كل من درجة الحرارة والرطوبة بعد كل مرحلة والتحكم بإضافة هواء ساخن أو بخار ماء. مع مراعاة مرور الهواء الساخن حول المنتج لتتساوى درجة التجفيف فى أجزاء الطوبه وفى كمية الطوب الكلية.

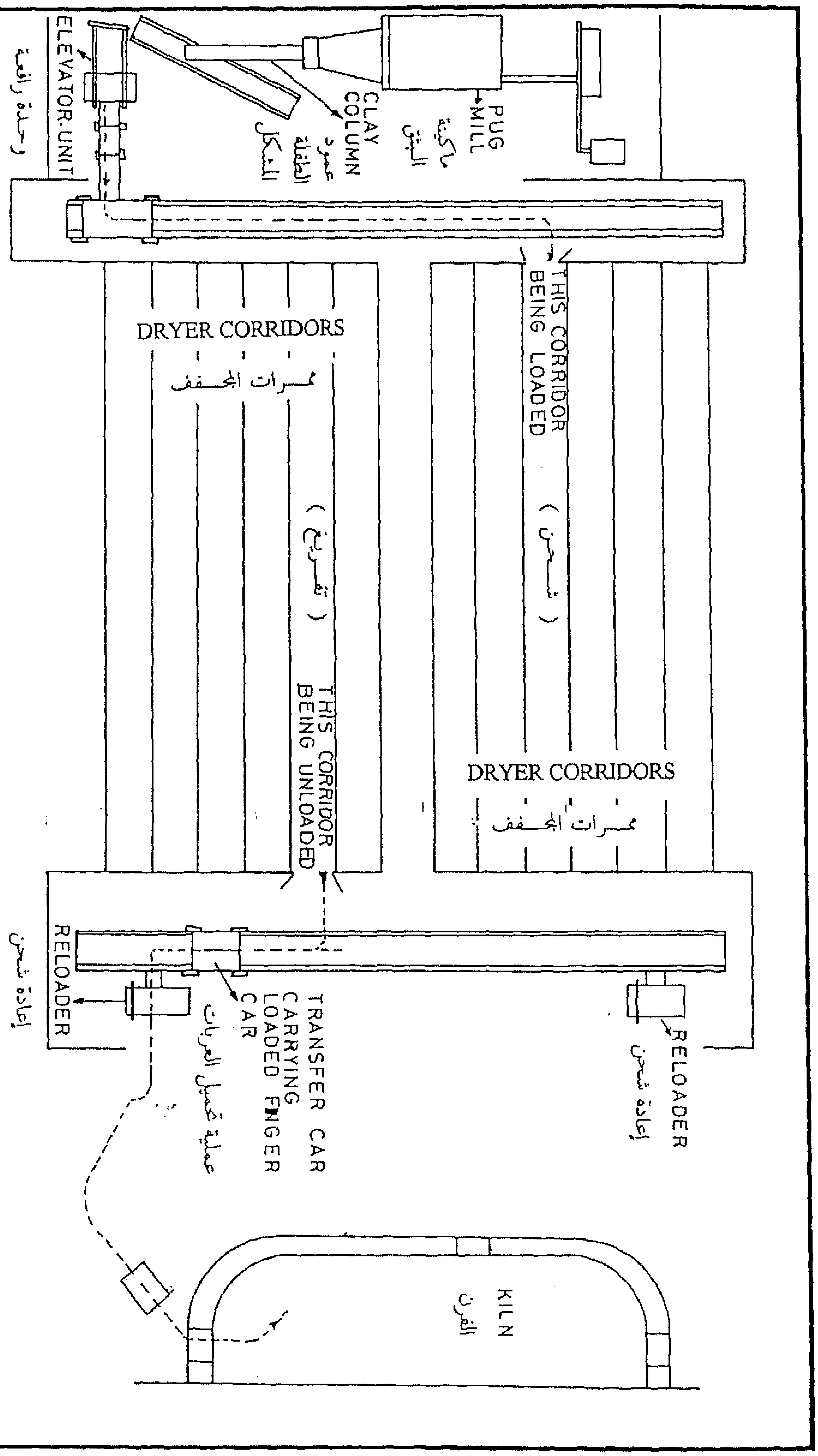
عادة لا يستخدم فى صناعة الطوب منظم رطوبة أثناء عملية التجفيف حيث لا يحتاج إلى الحساسية الكبيرة فى درجة الرطوبة أثناء التجفيف ولكن يتطلب مراوح لسحب هواء ساخن، ولضبط نسبة الرطوبة فى الهواء المستخدم فى المراحل الأولى من التجفيف يعاد دوره جزء من العادم والهواء الرطب الخارج من المجفف (شكل رقم ٣٢) أى ينبغى أن يكون الهواء المستخدم فى التجفيف جزء منه من مكان التبريد فى الأفران وجزء آخر من غرف التجفيف مع إستخدام مدخنة لتنظيم الرطوبة مزوده بصمام تحكم.

وللوصول إلى ظروف تجفيف مثالية مع مجففات الغرف المتحكم فيها بدقة يراعى تلافى دخول الهواء الساخن مباشرة من أسفل المجفف وذلك لسببين هامين.

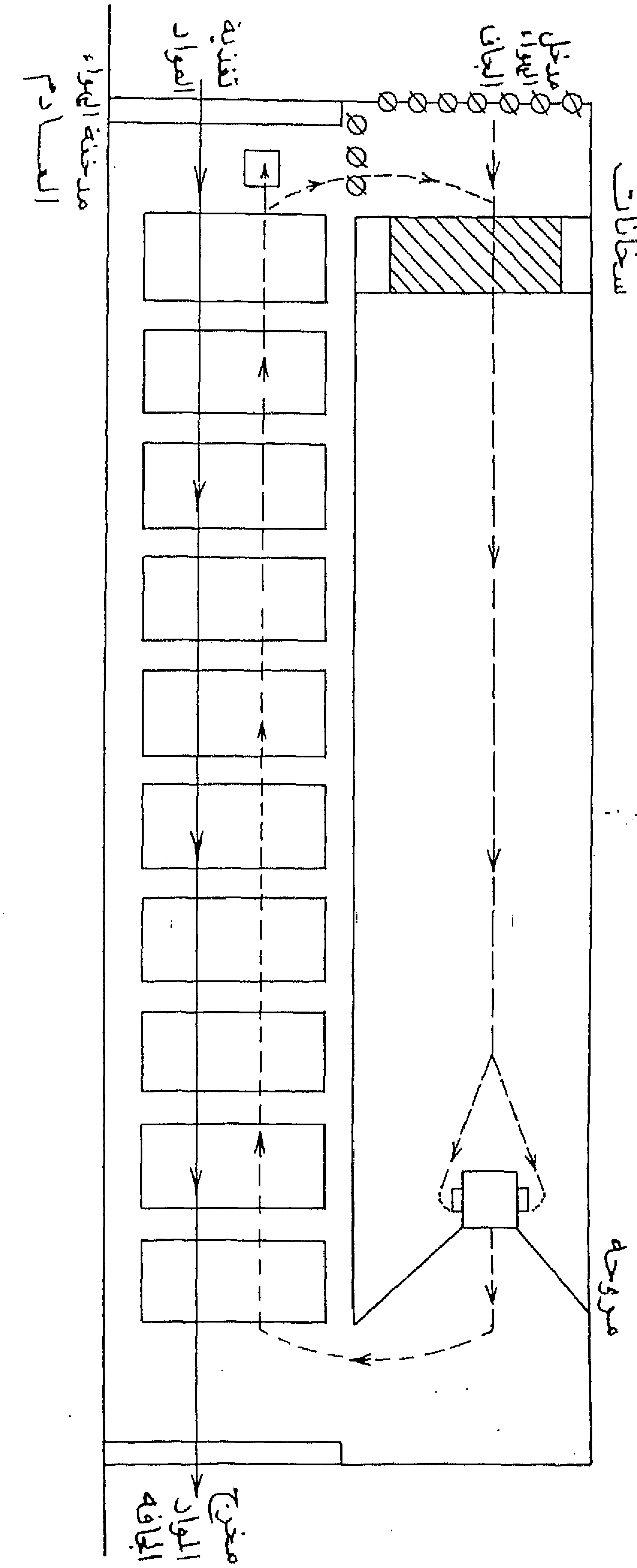
أولاً: الإرتفاع المباشر للهواء الساخن إلى أعلى المجفف ويظل نسبة كبيرة من الطوب فى الجزء الأسفل من المجفف لا تستفيد بقدر كاف من الهواء الساخن لكى تجف وتظل رطبة، يمكن



شكل رقم (٣٠) : مجفف الغرف موضح به الحواجز الجانبية
التى يتـم عليها رص المنتجـات المحمـلة
على ألواح معدنيـة




شكل رقم (٢١) : مجفف الغرف والممرات




شكل رقم (٣٢) : تخطيط مجفف نفقى باستخدام تيار فى إتجاه عكسى

التغلب على ذلك بوضع عدد من فتحات دخول الهواء الساخن وخروجه على طول الممر فى مجففات الغرف والممرات.

ثانياً: يؤدى التلامس المباشر للهواء الساخن من سطح الطوب الرطب إلى عيوب التجفيف مثل الشروخ أو الكسر ولتلافى ذلك يستخدم هواء رطب أولاً ثم جاف بعد ذلك.

## (٢) المجففات المستمرة Containuous Dryers

### المجفف النفقى Tunnel Dryer

تدخل العربات محملة بالطوب من خلال المجفف النفقى وبينما تتحرك العربات يدخل الهواء المستخدم فى التجفيف من خلال أنابيب البخار بقرب قاعدة النفق ويتطلب هذا عدد كبير من الأنابيب ليعطى كفاءة وليتم تجفيف المنتج فى الطبقات السفلى من ا لطوب.

ويكون اتجاه الهواء إما فى نفس إتجاه حركة العربات المحملة بالطوب أو فى الإتجاه العكسى وهذا الأخير له تأثيراً أكبر فاعلية وأفضل لتجفيف المنتجات المصنوعة من الطفلة – شكل رقم (٣٢).

وللاستفادة من كفاءة التسخين من الهواء الداخل إلى المجفف أن يكون أعلى تسخين بالقرب من جهة خروج المنتجات لكى يجعل الهواء نقيا Freshly ويستفاد بكفاءة الهواء فى التجفيف، وعندما يمر الهواء المسخن فوق الطوب الداخل لا يحتاج إلى زيادة نسبة الرطوبة حيث يكتسب نسبة من الرطوبة من تجفيف المنتج.

أما فى حالة التيار فى نفس الإتجاه، يتدرج تسخين المنتجات من درجة حرارة الغرفة إلى أن يصل إلى أعلى درجة مطلوبة وتفضل تلك الطريقة فى الطفلات صعبة التجفيف.

## بعض العوامل الهامة التى تتميز بها المجففات الصناعية

### ١- الحيـز Space

تحتاج المجففات الصناعية إلى حيز أقل كثيراً من التجفيف العادى أو التجفيف على أرضية مسخنة Hot floor.

### ٢- التداول Handling

تحتاج الطرق القديمة للتجفيف إلى تداول كبير، أما فى المجففات الصناعية يراعى ذلك ويتغلب عليها.

### ٣- المعالجة والتحكم Mainpulation & control

توجد طبيعياً عمليات معالجة وتحكم بصورة أكبر فى المجففات الصناعية.

### ٤- الصيانة Maintenance

يمكن صيانة المجففات الصناعية بدرجة أكبر من التحكم.

### ٥- كفاءة الوقود

هى نسبة بين كمية الوقود اللازم نظرياً إلى المستخدم فعلاً.

### ٦- كفاءة الزمن

هى نسبة بين أدنى زمن تحتاجه المنتجات لكى تجفف (بأمان) تحت الظروف المثالية — على الزمن الفعلى المستغرق فيه عملية التجفيف، وليس من السهل قياس كفاءة الزمن حيث أن أدنى زمن لابد وأن يعرف من خلال عمليات تجريب لكل شكل أو منتج.

### ٧- المعدل ا لأقصى للتجفيف الآمن ودرجة حرارته القصوى

يعتمد هذا على الجسم الخزفى Body والحجم وشكل القطعة، تجرى اختبارات على المنتج للوصول إلى المعدل اللازم للتجفيف ولا يمكن تعميم نتائج قطعة واحدة على الإنتاج كله، لذا تجرى دوره تجفيف على المنتج بالحجم الطبيعى فى المجفف الذى يستخدم ويضبط معدل التجفيف وشروطه بحيث يعطى أمن كبير للمنتج وكفاءة زمن حيث يختلف جدول التجفيف تبعا للمنتج.

## كفاءة المجفف Dryer Efficiencies

يمكن أن تلاحظ كفاءة المجفف من خلال بعض النقاط مثل

١- الوقود Fuel

٢- الزمن Time

٣- التكلفة Cost

### (١) الوقود Fuel

يمكن أن تسخن أغلب المجففات بواسطة الحرارة المفقودة من الأفران، أو أن يكون هذا بصورة جزئية مع إستخدام هواء نقى، ولذا ينبغى أن يمر هذا من خلال محولات حرارة Heat exchangers أما فى حالة إستخدام هواء نقى ساخن لتسخين المجففات يمكن إستخدامه مباشرة وقد يحتاج (أو لا يحتاج) إلى تعزيزه ببخار ماء ينتج من أنابيب تسخين أو بالتسخين بالكهرباء وفى هذه ا لحالة يتطلب إستخدام ضرورى لمنظم حرارى.

والمجففات مع نظام إعادة إستخدام الهواء العادم إما مباشراً أو مع مغير تسخين يمكن أن يكون استخدامه بكفاءة أعلى للوقود وبكمية من الرطوبة المتطلبة لتشبع الهواء.

وفى المجففات الرطبة أساساً، يستفاد بنسبة من هذا العادم الرطب الساخن بخلط جزء منه مع الهواء الجاف النقى الداخل للمجفف وفى البعض الأخر يمكن أن يمر العادم خلال مغير تسخين ليدخل هواء نقى دافئ.

وفى المجففات النفقية يكون العمل أكثر إقتصاداً للحرارة حيث أن بناء المجفف لا يعاد تسخينه مع كل دفعة إنتاج.

ويجب الأخذ فى الإعتبار كل من الطاقة اللازمة لمراوح السحب وعادة لا تكون هذه المراوح ذات طاقة عالية، وكذلك نسبة الطاقة المزود بها المراوح لتحول إلى حرارة.

## (٢) الزمن Time

يختلف زمن التجفيف عند إجراء الإختبار عن الزمن الفعلى الذى يستغرقه الإنتاج وبإيجاد النسبة بينهما تتضح كفاءة الزمن وكمثال لذلك موضح فى الجدول التالى (رقم ٦) لستة عينات من الطفلة المستخدمة فى صنع بلاطات.

**جدول رقم (٦) كفاءة ا لزمن**

| الطفلة | زمن التجفيف (ساعة) | | كفاءة الزمن |
|---|---|---|---|
| | عند العمل | عند الاختبار | % |
| أ | ٦٢ | ٢٩,٩ | ٤٨ |
| ب | ١٤٤ | ٢٢,٤ | ١٦ |
| جـ | ١٢٠ | ١٣,٩ | ١٢ |
| د | ١٦٨ | ١٧٩,٣ | ١٠٦ |
| هـ | ١٦٨ | ٢١,٣ | ١٣ |
| و | ٣٠ | ١٥,٥ | ٥٢ |

## (٣) التكلفة Cost

لا يعبر عنها بعلاقة أو نسبة كما فى الكفاءة ولكن توجد بعض العوامل التى تتركز فى:

١- تكلفة التسخين المستخدم: مثل نوع الوقود وأسلوب تحويله إلى حرارة.

٢- تكلفة الطاقة المستخدمة.

٣- العمالة.

٤- فاقد الإنتاج فى مرحلة التجفيف الناتج عن الكسر والشروخ.

٥- الصيانة وقطع الغيار.

٦- أسهم من قيمة إستهلاك فى التكلفة الكلية للمصنع المنشأ.

٧- أسهم من قيمة مساحة المصنع المستخدمة.

٨- أسهم على الأصناف فى عمليات التجفيف والتكلفة الناتجة.

٩- بعض مصروفات إضافية مثل المشرفين والإدارة والتأمين والاستهلاك و.....الخ.

# رابعاً: الحريق

**مقدمــــة**

من المراحل الهامة والأساسية فى إنتاج نوعيات الخزف هو تعرضها للتسخين لكى يتصلد الجسم ويكتسب مواصفات المنتج، وبوجود الأجسام الخزفية فى دائرة الحريق تحت فعل التسخين يبدأ فى حدوث تغيرات طبيعية وكيميائية داخل الجسم الخزفى نتيجة تغير فى المعادن المكونة له بارتفاع درجات ا لحرارة.

وتفقد الطفلة لدونتها بإتمام عملية الجفاف والوصول إلى درجة حرارة ٦٠٠°م ويمكن أن تتفكك بالماء وأن تؤثر فيها عوامل التجويه الطبيعية، لذا ترفع درجات الحرارة إلى أعلى من ٩٥٠°م وتعتبر تلك الدرجة أدنى درجة يمكن أن تعطى قوة مرضية للأجسام المستخدم فيها الطفلة.

وبرفع درجة الحرارة أعلى من ذلك فإنه يحدث إعادة تبلور أكثر للمعادن الموجودة فى التركيب ويبدأ تكون صنف زجاجى وكذلك تبدأ المسام المغلقة فى التكوين.

ويمكن أن نصل بدرجات حرارة حريق مواد البناء إلى ١١٠٠°م أو أكثر بدون أن ينصهر أو أن يتشوه الشكل، ويعطى هذا منتج عالى التحمل مع درجة إمتصاص للماء أقل ويلائم هذا إنتاج بعض نوعيات الطوب المستخدم فى الإنشاءات الهندسية Engineering Bricks.

وخلال عملية الحريق ورفع درجات الحرارة تقع الطفلة فى سلسلة من التغيرات فى الخصائص الطبيعية بينما تحدث تفاعلات كيميائية معقدة معا داخل المعادن المكونة منفردة وبين المعادن المختلفة ويتبع ذلك تغيرات فى الحجم من تمدد حرارى وإنكماش.

وهذه التغيرات الكيميائية والمعدنية التى تحدث فى عملية التسخين يمكن حصرها فى عملية تخلص من الماء Dehydration وأكسدة Oxidation وإعادة تبلور Recrystalization وعملية تزجج Vitrification.

يتم هذا فى المراحل التالية عند استمرار التسخين.

## أولاً: التخلص من الماء Dehydration

### أ- التخلص من الماء المتحد ميكانيكى

التخلص من نسبة الرطوبة التى ما زالت متبقية بعد إتمام عملية تجفيف المنتج ويراعى بذلك إحتواء الجسم نسبة من الرطوبة بعد عملية التجفيف حتى لو جفف جيداً ويجب التخلص منها قبل الإرتفاع بدرجات الحرارة لتلافى عمليات الشرخ والكسر، كما يراعى فى ذلك عدم السرعة فى رفع درجات الحرارة – تتم تلك المرحلة إلى درجة حرارة ٢٠٠°م.

## ب- التخلص من الماء المتحد كيميائى

عادة ما تحتوى الطفلة على نسبة من الماء المتحد كيميائى يتراوح نسبته ما بين ٥-١٥% من الوزن الكلى – ويتم التخلص منه فى درجات حرارة ٤٥٠°م.

## ثانياً: الأكسدة Oxidation

أ- كثيراً ما تحتوى الطفلات على مواد عضوية يتم أكسدتها أثناء عمليات الحريق ويجب أن ترفع درجات الحرارة بمعدل معتدل بحيث تسمح بإتمام عمليات الأكسدة وكذلك التفاعلات المؤكسدة وتلافى عيوب المنتجات المنتفخة Bloated التى تتسبب من إحتباس غازات ناتجة من التفاعل فى أجزاء من الجسم لم تتمكن من الخروج للإرتفاع السريع بالحرارة، وكذلك العيوب التى تسمى Black-cored نتيجة عدم وصول الأكسجين إلى الأجزاء الداخلية وإتمام التفاعلات المؤكسدة.

ب- كثيراً ما تحتوى الطفلات على عناصر الكالسيوم والماغنسيوم فى شكل كربونات أو كبريتات مثل كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وهذه الكربونات غير ثابتة نوعاً وتتحلل إلى أكاسيد مع خروج غاز ثانى أكسيد الكربون فى درجات حرارة من ٤٠٠-٩٥٠°م كما تتحلل الكبريتات أيضاً فى نفس مدى درجات الحرارة وينتج ثانى أكسيد الكبريت.

ونسبة تلك المكونات (المعادن) قليلة فى الطفلة مما لا يسبب ضرراً.

## ثالثاً: إعادة التبلور Recrystalization

عندما تتحطم بلورة معادن الطفلة يفقد الماء المتحد معها كيميائياً ويحدث فى شكلها تغير طفيف، وفى درجات الحرارة العالية (١٠٠٠-١١٠٠°م) تعود إلى التبلور على شكل جزيئات إبرية الشكل تعرف بالموليت Mullite ($3\ Al_2O_3.\ 2SiO_2$).

## رابعاً: عملية التزجج Vitrification

يبدأ بعد ذلك فى تكون صنف زجاجى Glassy phase يعمل على سد المسام وتقليل درجة إمتصاص الماء إلى أن تصل إلى صفر كما فى البورسيلان كما يؤدى ذلك إلى وجود درجة شفافية فى المنتج.

يمكن عند إتمام التفاعلات المؤكسدة الإرتفاع بدرجات الحرارة من ٩٠٠°م إلى درجات الحرارة النهائية، وعامة تختلف تلك الدرجات تبعاً للمواد الخام المستخدمة وأقصى درجات الحرارة لأغلب طينات مواد البناء هى ١١٥٠°م.

وتثبت درجات الحرارة الأخيرة لفترة من الزمن (½ ساعة) للتأكد من إمكانية توزيع وانتظام الحرارة خلال غرفة الحريق كذلك لتقليل التنوع أو الأختلاف فى خصائص الطوب إلى أدنى حد.

## يلى هذا مرحلة التبريد

يمكن أن يتم تبريد المنتجات بمعدل تبريد (طبيعى) أو تقليدى أى أن تترك المنتجات لتبرد بمعدل طبيعى دون إسراع فى التبريد أو التحكم فى درجات الحرارة.

ولكن يمكن التخلص من الهواء الساخن للإسراع من عملية التبريد وأغلب المنتجات يمكن أن تبرد بسرعة من نهاية الحريق إلى درجة حرارة ٧٠٠°م ثم يبرد ببطء مع مراعاة التبريد إلى ٥٠٠°م ثم يمكن أن يسرع معدل التبريد بعد ذلك.

**ويمكن توضيح مراحل الحريق والتغيرات التى تحدث أثنائها فى الجدول رقم (٧)**

جدول رقم (٧) التغيرات التى تحدث أثناء عملية الحريق

| درجة الحرارة | التغيرات التى تحدث |
|---|---|
| ٢٠°م-١٥٠°م | إكمال عملية التجفيف للتخلص من بقايا الماء المتحد ميكانيكى |
| ١٥٠°م-٦٥٠°م | التخلص من الماء المتحد كيميائى فى معادن المونتموريللونيت أما فى معدن الايليت (Illite) تبدأ تلك المرحلة من درجة حرارة ٢٠٠°م وعند ٤٠٠°م يبدأ معدن الكاولينيت فى التفكك وخروج الماء المتحد كيميائى ويمكن أن يستمر ذلك إلى ٨٥٠°م-٩٠٠°م. |
| ٢٠٠°م-٩٠٠°م | يحتاج فى هذا المدى من درجات الحرارة إلى هواء كاف لتوفير نسبة أكسجين تكفى لإتمام عملية أكسدة المواد الكربونية وليتم التفاعل. |
| ٤٠٠°م - ٩٥٠°م | يحدث تفكك الكربونات والكبريتات فى نفس المدى تقريباً وقد تسبب غازات الكبريتيد فى حدوث إنتفاخات فى المنتج فيما عدا لو سمح لها بإتمام الأكسدة قبل أن يتزجج السطح. |
| ٥٧٣°م | تعتبر تلك الدرجة من الأهمية الكبرى فى حريق المنتجات الطينية وذلك لحدوث تحولات فى صور السيليكا (من $\alpha$ إلى $\beta$) من ألفا إلى بيتا فى تلك الدرجة مصحوب ذلك بتغير مفاجئ فى الحجم مما يحدث تمدد عند التسخين لتلك الدرجة وبالعكس يحدث تقلص (انكماش) إلى الحجم (الأول) عند التبريد – لذا يجب الحرص الضرورى عند التسخين فى هذه الدرجة لملافاة عيوب الشروخ المتسببة من الإجهادات الناتجة عن هذا التحول – ولذا عمليا يجب أن يقلل معدل التسخين والتبريد بين درجات حرارة ٥٠٠-٧٠٠°م. |
| ٩٠٠°م- وأعلى | تبدأ عملية التلبيد (Sintering) عندما تبدأ الدقائق فى الإندماج عند نقط التلامس وبداية عملية التزجج – وتعتمد كمية المادة الزجاجية المتكونة على كمية المواد المساعدة على الصهر من كالسيوم وماغنسيوم وصودا وبوتاس وأكسيد حديد الموجود فى الطفلة |

## الأفــــران

تعتبر الأفران من بين الأجهزة التى يحتاجها صناعة الخزفيات عامة التى تتطلب تكلفة عالية ودقة وتحكم كبير فى جدول الحريق الخاص بها وذلك للإرتباط المباشر الكبير بين درجة الحرارة والتفاعل الذى يتم أثناء الحريق والتغيرات الطبيعية والكيميائية التى تحدث خلالها وخاصة عمليات التمدد والإنكماش والتى تنتج عنها بعض عيوب الحريق مما يتطلب العناية بالحريق ومعدل زيادة التسخين وذلك للعمل على إنتظام توزيع درجات الحرارة وإتمام الحريق الجيد للمنتج.

وأخذت الأفران تطوراً كبيراً لتبدأ من حرق المنتجات فى جفرة أو كومة بإستخدام الخشب الخام أو الروث Dung فى نفس المكان الذى توضع فيه المنتجات إلى بناء ثابت بإستخدام الطوب لبناء قاعدة وحوائط وتغطية المنتجات بالقش أو الطمى.

ثم تطور إلى بناء غرفة حريق Muffle مقفلة تماماً مع سقف مقوس Arched وباستمرار التطور ما عمل على رفع درجة الحرارة وكذلك إنتظامها وإنتاج نوعيات جيدة من الخزفيات عامة.

وإستمر التطور فى بناء الأفران وخاصة فى الصين حيث بنيت أفران للحريق العالى وذلك نتيجة لتصميم الفرن ودورة الحريق فيه وشكل رقم (٣٣) يوضح تخطيط لفرن دائرى بتصميم سحب سفلى يلائم درجات الحرارة العالية، وما زال التطور مستمر فى تصميم بناء الأفران والتى أصبح أغلبها (بعد الحرب العالمية الأولى) من الأفران النفقية للإنتاج المستمر فى صناعة الفخار، ويستمر التطور الآن لإعطاء أفران ذات كفاءة أعلى.

تنقسم الأفران من حيث طريقة التسخين وحرق المنتجات إلى:

### أ- أفران حريق مباشر

يكون فيها اللهب ونواتج الإحتراق فى تلامس مباشر مع المواد المراد تسخينها، وفى تلك الأفران يكون الحريق إما من أسفل أو من أعلى أو من جوانب الفرن.

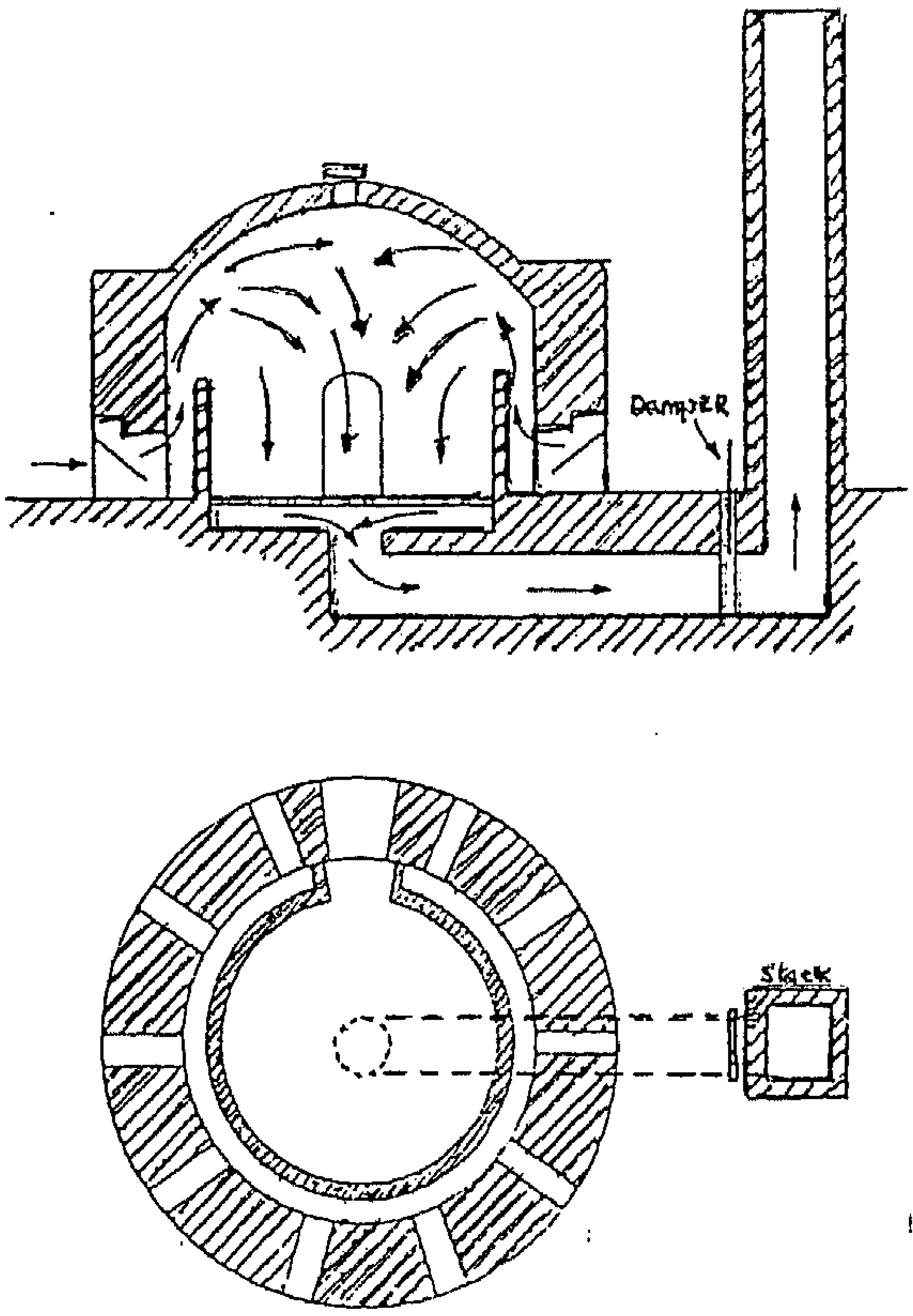
### ب- أفران حريق غير مباشر

تكون فيها المواد المراد تسخينها فى داخل غرفة مقفلة من الطوب الحرارى Muffle ويتم تسخين الغرفة من الخارج.

### مميزات الأفران ذات الحريق المباشر (والتى تلائم صناعة الطوب)

بالمقارنة بأفران الحريق غير المباشر فإن أفران الحريق المباشر تتميز بما يلى:

١- تكلفة أولية منخفضة.




شكل رقم (٣٣) : تخطيط فرن دائرى بتصميم سحب سفلى

٢- نقل الحرارة إلى المنتج وبطريقة أسرع.

٣- كفاءة حرارية أعلى فى أغلب الحالات.

٤- درجة حرارة أعلى والتى تتطلبها عمليات الحريق السريع.

كما يمكن تقسيم الأفران عامة إلى أفران الدفعات أو الأفران المستمرة ومنها ما يكون لهب التسخين ثابت بينما تتحرك المواد أو المنتجات المراد تسخينها كما فى الأفران النفقية، أو أن يكون المنتج ثابت وتنقل مصادر التسخين من مكان لآخر مثل أفران هوفمان.

وفى جميع أنواع الأفران ينبغى العناية بإختيار بوارى التذرية لكى تكفل تذرية جيدة للوقود كما يجب ضبط درجة حرارة الغرف والتأكد من حسن تصميم محركات الهواء والغازات بين المنتجات لضمان إحتراق جيد خال من الدخان وكذلك ضمان إنتظام الحريق (بقدر الإمكان) فى الأمكان المختلفة من الفرن.

## الأفران المستمرة

تستخدم الأفران المستمرة فى حريق منتجات الفخار والخزف لإعطاء معدل أكبر من الإنتاج، وهى بطبيعتها إقتصادية وذات كفاءة فى الإنتاج المستمر.

ومن تلك الأفران التى تستخدم فى حريق طوب البناء أفران هوفمان ووارين والأفران النفقية وتتم دورة الحريق فى عمليات مستمرة لا تنقطع ففى أى وقت يتم شحن المنتج داخل الفرن وفى نفس الوقت يتم تفريغ المنتج من جزء أخر بينما تغذى منطقة أخرى للحريق، وتلك الدورة تنطبق على كل من نوعى الأفران المستمرة إن كان التسخين متحرك والمنتج ثابت كما فى أفران هوفمان، أو إن كان التسخين ثابت كما فى الأفران النفقية.

فى أفران الدفعات تفقد نسبة كبيرة من الحرارة مع غازات العادم دون الإستفادة بها تصل لحوالى ٣٠-٥٠٪ من الحرارة التى تمر من خلال المدخنة عند درجات نهاية الحريق الذى يصل إلى ٨٠٠-١٠٠٠°م كما تفقد نسبة أخرى من الحرارة أثناء فترة التبريد والتى تصل إلى ٣٠-٤٠٪ مما يحتويه جسم المنتج أو الفرن عند نهاية الحريق.

أما فى الأفران المستمرة يستفاد من غازات العادم الساخنة التى تمر خلال التسخين الأولى ثم إلى المدخنة وهى بذلك تهئ المنتج الغير محروق للتسخين بالتدريج فى بداية الحريق قبل أن تخرج غازات العادم من المدخنة ولا يزيد درجة حرارتها عن ١٠٠-٢٠٠°م كما أن الهواء اللازم للإحتراق يأتى من منطقة التبريد ليحمل أكبر جزء وبالتالى يوفر جزء كبير من التسخين فى عملية الحريق.

وبهذا فإن الأفران المستمرة يقل إحتياجها إلى ½ أو ¼ الكمية التى يحتاجها نفس المنتج فى أفران الدفعات.

يوجد نوعين مميزين من الأفران المستمرة تبعا لبنائهما مثل أفران هوفمان والأفران النفقية يتم فيهما الاستفادة بنسبة كبيرة من الوقود حيث تستخدم الحرارة المفقودة الناتجة عن الحريق فى تسخين المنتجات التى لم تحرق بعد.

وتوجد طريقتين أساسيتين للحريق المستمر.

الأولى: أن يحرق المنتج فى مجموعة من أفران الغرف المتلاصقة أو فى شكل حلقة، ويتم عملية التسخين بالتوالى فى شكل مستمر.

الثانية: أن يمر المنتج من خلال فرن نفقى Tunnel يحتوى على مناطق تسخين وحريق وتبريد.

## أفران هوفمان

تستخدم عملية الحريق بالتوالى فى غرف فرن هوفمان حيث يتكون الفرن من غرف حريق متجاورة يرص فيها المنتجات وتكون ثابتة وحريق متحرك فى عملية مستمرة أى أنه يستفاد من عادم حريق غرفة التسخين الأولى للطوب المعد فى غرفة ثانية وعندما يصل إلى درجة حرارة معينة يبدأ فى الحريق ثم يستفاد من عادم الحريق فى التسخين الأولى للطوب فى غرفة ثالثة وهكذا....

لذا يرص الطوب فى سلسلة من الغرف المترابطة والتى تشكل عملية الاستمرار بحيث يتحرك اللهب من غرفة إلى ما يليها وكذلك إمكان إستخدام عادم الحريق والغازات الناتجة عن التفاعل فى التسخين الأولى للغرفة وهكذا وتتم عمليات الحريق بالتوالى فى أجزاء الفرن المختلفة بحيث يكون جزء منه فى عملية شحن ورص الطوب وأخرى عملية تسخين وثالثة عملية حريق وأخرى عملية تبريد وغيرها فى عملية تفريغ وهكذا تتم فى عمليات مستمرة متوالية (أنظر دورة الحريق فى فرن هوفمان صفحة ٢٣٦) وتتشابه بعض النوعيات من الأفران من حيث تخطيطها وفى هذا تعرف أربع أنواع بهذا التخطيط مثل أفران هوفمان Hofmann وبيلجيان Belgian وستافورد شير Staffordshire ولانكشير Lancashire وعادة ما يكون هذا التخطيط فى شكل صفين من الغرف تتصل بنهاية دائرية، وتتصل بمداخن فى أسفل المركز وحول الجانب الخارجى والتى تتصل بمدخنة عالية لخروج العادم، ويتم الحريق عادة من أعلى.

## تخطيط أفران هوفمان الدائرية

أفران هوفمان المبكرة ذات دورات الحريق المستمرة لحرق الطوب تشمل على فرن دائرى بمتوسط طول كلى حوالى ٤٤م ومكون من ١٢ غرفة كل منها عبارة عن فرن متقطع (غير مستمر الحريق) تلتف تلك الغرف داخل الحائط الخارجى مع ١٢ مدخل للمدخنة (يمكن التحكم فيها

بصمامات منظمة) فى الحائط الداخلى للفرن وتتصل تلك المداخن بغرف جمع الدخان لتصل إلى المدخنة الرئيسية فى منتصف الفرن.

والشكل رقم (٣٤) يوضح تخطيط لفرن هوفمان الأصلى الدائرى ( أ )، وقطاع طولى فيه (ب) وصمم هذا الفرن لحريق الطوب بحيث يكون فى إتصال مباشر مع وقود الحريق والذى يتم من خلال فتحات فى السقف كما موضح فى الشكل رقم (٣٥) حيث تخطيط فرن هوفمان مستطيل الشكل يتكون من ١٤ غرفة تتصل بالمدخنة الرئيسية للفرن فى المنتصف ( و ) بواسطة مداخن فرعية (جـ١-جـ١٤) كذلك الفتحات الجانبية (ب١-ب١٤) فى الحائط الخارجى والموصل إلى المدخنة كما موضح فى كل من المقطعين (ل١-ل٢)، (ل٣-ل٤) فى الشكل رقم (٣٥أ).

## بعض التطور فى أفران هوفمان المبكرة

١- إستخدام الأفران المستطيلة المسقط بدلا من الدائرة والتى تشمل على من ١٤ أو ١٦ غرفة حريق لتسع كمية أكبر من الطوب ويعطى كفاءة أكثر وتتميز المساحات المستطيلة الشكل بسهولة الرص والنقل والتداول.

٢- تشمل الأفران (المبكرة) المستمرة على ١٢ غرفة بطول كلى حوالى ٤٤م، وعندما يتطلب فترة أطول فى عملية التسخين والتبريد أى معدل أبطأ لكل منهما فإنه يمكن أن يصل الفرن إلى ١٦ غرفة حريق تصل لطول كلى حوالى ٦٨م وقد وجد بعض الباحثين علاقة بين طول الفرن والزمن اللازم للحريق فى أن أفضل معدل للحريق ١٥٠°م/ يوم وتحتاج دورة الحريق إلى ٦ أيام لذا فإن الطول الكلى اللازم للغرف لإعطاء نتائج أفضل هو ٩٠م تقريباً.

كما يمكن أن تتنوع وتختلف بعض العوامل فى أفران هوفمان فى بعض أو كل مما يلى:

١- مسقط مستطيل بدلا من الدائرة.

٢- مسقط معرج Zigzag.

٣- طول مختلف يسمح بحريق بطئ.

٤- عمل حواجز بين المنتج والوقود لملافاة الإتصال المباشر بينهم.

٥- بناء حواجز بين الغرف بدلا من الحواجز المؤقتة.

٦- إستخدام مراوح بدلا من مداخن العادم.

٧- أدوات وقود آلية.

٨- إستخدام وقود زيت أو غاز بدلاً من الوقود الصلب.

٩- إلغاء البناء المقوس.

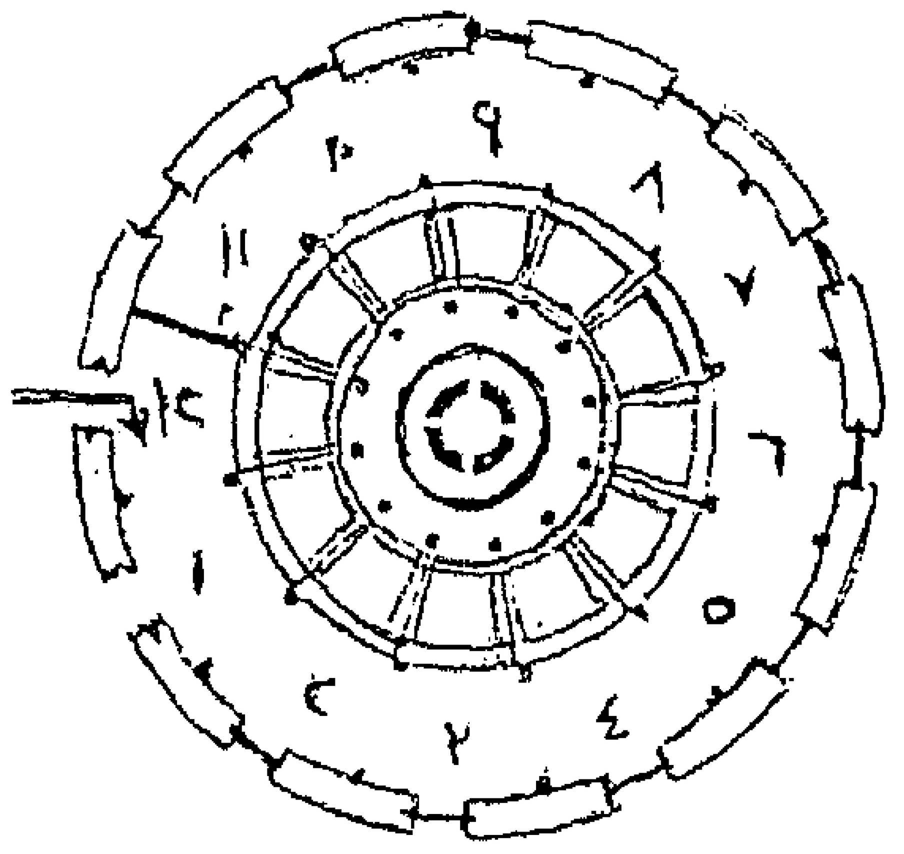
١٠- التنظيم والتحكم فى الوقود والصمامات لإستخدام الهواء الساخن من الغرف تحت التبريد بدلاً من إستخدام غازات الأفران لتسخين الطوب غير المحروق.

١١- يمكن تنظيم وترتيب الشحنات والحوائط المثقبة والمداخن لعمل نظام حريق بتخطيط علوى أو سفلى أو أفقى Up-draght, Down-draght and Horizontal-draght.

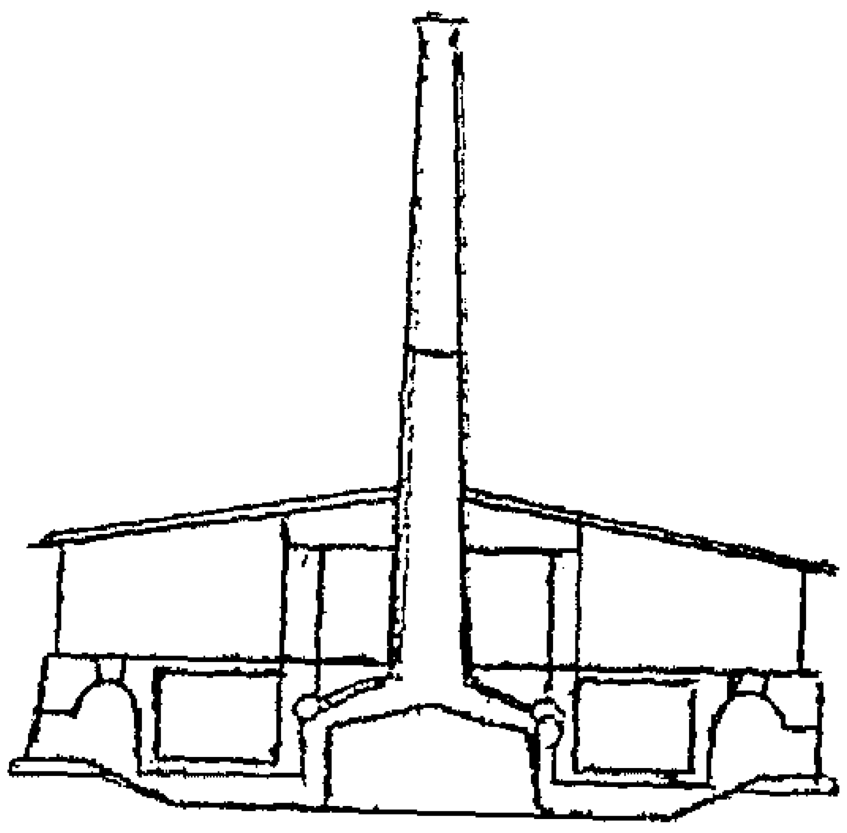
## دورة الحريق فى فرن هوفمان

تتم عملية الحريق فى فرن هوفمان فى دورات متتالية فى غرف الحريق الخاصة بالفرن بالتوالى، كما فى التخطيط شكل رقم (٣٦)، ولتوضيح ذلك فإن كل غرفة تمر بمراحل الحريق من (تعبئة – وتسخين أولى لخروج نسبة الرطوبة المتبقية بالجسم – تسخين – حريق – تبريد- تفريغ) وتكون أى من غرف الفرن فى حالة من تلك الحالات مثال ما يلى:

- عندما يتم تبريد الطوب بالغرفة رقم (١، ٢) يتم تفريغها.
- وتكون الغرف رقم (٣، ٤) فى حالة تبريد بالهواء القادم من الغرف المفتوحة التى يتم تفريغها أو تعبئتها.
- والغرفة رقم (٥) يكون تم الحريق فيها وبدأت عملية التبريد ليمر الهواء الساخن إلى غرف الحريق.
- الغرف رقم (٦، ٧) تجرى فيها عملية الحريق.
- يمر الهواء الساخن من غرف الحريق إلى غرف رقم (٨، ٩) لتعمل على تسخين أولى للطوب بها.
- وفى الغرفة رقم (١٠) يتم عملية التخلص من نسبة الرطوبة المتبقية بعد عملية التجفيف للمنتج.
- عندما تبرد الغازات والهواء الساخن المار على المنتجات (لحوالى ١٥٠°م) يمر من المدخنة فى نهاية الغرفة رقم (١٠).
- وفى نفس الوقت تكون عمليات التعبئة ورص الطوب فى الغرف ١١، ١٢.
- عندما يجرى هذا يكون قد تم حريق المنتجات فى رقم (٦، ٧) فيبدأ فى تبريدها وتكون الغرفه (٨، ٩) تم تسخينها ويبدأ فى الحريق، والغرف التى عبئت يبدأ فى تسخينها الأولى، والتى تم تبريدها تفرغ وهكذا فى دورات مستمرة خلال غرف الفرن فى عمليات الحريق المختلفة.



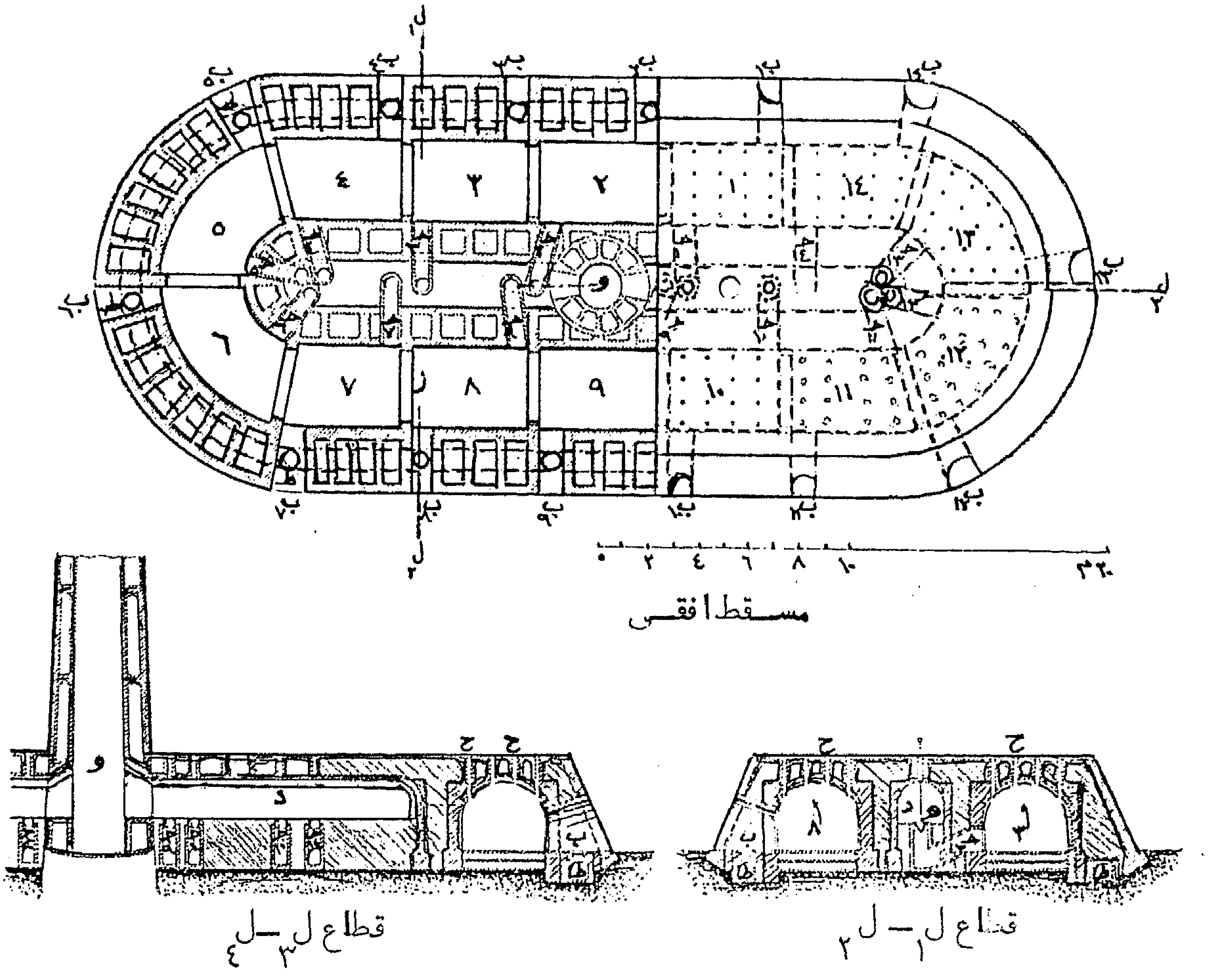
( أ )



(ب)

شكل رقم (٣٤) : ( أ ) مسقط لفرن هوفمان الأصلى ،

(ب) قطاع طولى فيه




شكل رقم (٣٥) : تخطيط لفرن هوفمان

(أ) غرف الحريق أ ١-١٤

(ب) فتحات المدخنة ب ١-١٤

(جـ) مدخنة جـ ١-١٤

(د) غرفة تجميع الدخان

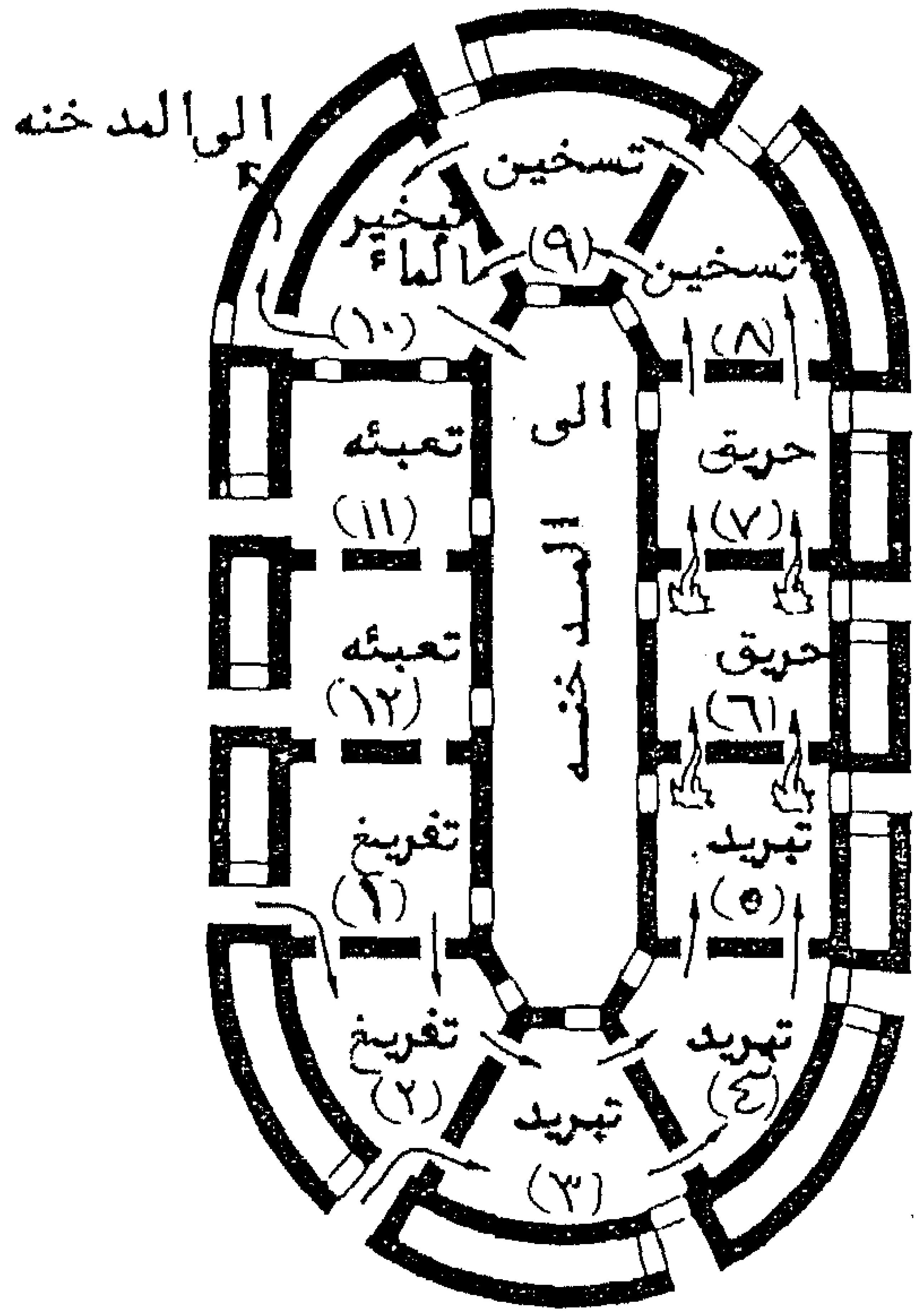
(هـ) وصلة تحكم للمداخن الفرعية و غرفة تجميع الدخان

(و) المدخنة الرئيسية

(ز) جزء قابل للتحرك بين الغرف

(ح) فتحات الحريق

(ط) مدخنة الهواء الساخن




شكل رقم (٣٦): دورة الحريق فى فرن هوفمان

أفران هوفمان الحديثة تتكون أساساً من ٢ ممر طويل إسطوانى الشكل ينتهى كل منهما بمدخنة وإختفت الأبواب الجانبية الصغيرة التى فى أفران هوفمان الأولى، وأصبح الآن على طول الفرن كله الباب الذى يمر منه الطوب لأغراض التفريغ والشحن إلا أن بعض الأجزاء يجب أن تقفل لإجراء عملية الحريق وبحيث تكون ملائمة لهدم الحاجز المستخدم فى ذلك (عندما يتطلب هذا).

كما تنفذ تلك الأفران الآن بحيث تتقبل دخول عربات نقل الطوب حيث تعمل أغلب مصانع الطوب فى البلاد المتقدمة على النقل الآلى للطوب وهذا ليس توفير فقط للأيدى العاملة وتكلفة العمالة فى عمليات التفريغ والشحن للأفران ولكن أيضاً توفيراً للفاقد الكبير والغالب نتيجة النقل اليدوى للطوب حيث تقل أيضاً العناية التى تشملها عمليات التداول المضاعفة أو المركبة.

وعامة يمكن بناء أفران هوفمان بتكلفة أقل كثيراً عن أى نوع آخر من الأفران المستمرة وبنفس الكفاءة حيث تقل التكلفة بحوالى ٣٠% من تكلفة بناء الفرن النفقى، كما أن أفران هوفمان ذات أدنى تكلفة للصيانة حيث يمكن ملاحظة التلف أو ما يراد صيانته بصفة دورية كما أن من الهام معرفة أنه يمكن إجراء صيانة الجزء من الفرن فى حين أن يكون باقى الأجزاء فى عملية إنتاج وذلك لإمكان العمل فى غرف الفرن بتحكم أو إلغاء بعضها فى دورات الحريق عند إجراء الصيانة اللازمة أو الإصلاح اللازم، ويمكن مع أفران هوفمان إستخدام أى من الفحم أو الزيت كوقود.

تتميز تلك الأفران أيضاً باقتصاد فى الطاقة اللازمة حيث تستخدم أدنى ١,٣٤٠ كيلو جول/كيلو جرام من الطوب المحروق فى درجات حرارة حوالى ١٠٠٠°م ومن الشائع إستخدام من ٢٥٠٠-٣٤٠٠ كيلو جول وإستخدام حوالى ٢٥٠ كيلو جول/ كجم من الطوب فى مرحلة التجفيف وذلك عن طريق الغازات والحرارة التى تفقد فى مراحل الحريق والحرارة التى تنتج من مرحلة التبريد والتى تسحب لتستخدم فى عملية التجفيف بمعنى أنه وجد أن حوالى ٣٠% من شحنة الفرن يمكن أن تجفف بإعادة إستخدام عادم الحريق.

### والأبعاد الشائعة لفرن هوفمان الدائرى هى:

قطر حوالى ٣٠-٥٠م، عرض الممر حوالى ٦م، عمق حوالى ٢,٥م، ويمكن لهذا الفرن أن يسع لإنتاج ٦٠٠,٠٠٠ طوبة بمعدل من ٣٠,٠٠٠-٣٥,٠٠٠ طوبة/يوم.

### الأفران النفقية

تختلف الأفران النفقية عن أفران هوفمان فى أن الأولى يكون فيها التسخين متدرج على طول الفرن وأن تكون منطقة الحريق (أقصى درجة حرارة) فى منتصف الفرن يسبقها منطقة تسخين أولى

ويليها عملية تبريد للمنتج، وتدخل المنتجات محملة على عربات لتمر فى مناطق الفرن المختلفة ويتم الحريق وتسحب من الجهة الأخرى من الفرن.

أما فى أفران هوفمان (كما سبق الشرح) يكون المنتج ثابت وتجرى عليه عمليات التسخين والحريق والتبريد بالتوالى. والأشكال أرقام (٣٧-٤٠) توضح نماذج لأفران نفقية مبينا بها العربات المحملة بالمنتجات والممرات الخاصة بها ومراحل دخول العربة الفرن، والشكل رقم (٤١) يوضح تخطيط لمناطق التسخين المختلفة داخل الفرن النفقى.

## وتتطلب الأفران عامة إلى:

١- مصدر ووسيلة تسخين مع إمكان التحكم.

٢- وسائل لنقل الحرارة من مصدر التسخين إلى المنتجات.

٣- قاعدة يرص عليها المنتجات.

٤- إستخدام حراريات تمنع فقد جزء من الحرارة.

وفى الأفران النفقية تتطلب أيضاً وسيلة لنقل المنتجات من خلال الفرن.

## مقارنة بين الفرن النفقى والدورى (بدورات حريق متكررة)

تستخدم الأفران النفقية بصورة أكبر فى الإنتاج الكمى عن الأفران الدورية (ذات الحريق فى دورات متكررة).

**لتميزها بما يلى**

١- إنتظام درجات الحرارة مع إنتظام كل من الزمن وتسلسل العمليات خلال جميع أجزاء الفرن.

٢- إقتصاد فى الوقود.

٣- تقليل العمالة فى عمليات الشحن والتفريغ للفرن.

٤- المحافظة على الحراريات بالفرن حيث لا تقع فى عمليات تسخين متكررة يعمل على تلفها ولكن تحتفظ بدرجة حرارة ثابتة تصل لسنوات عديدة.

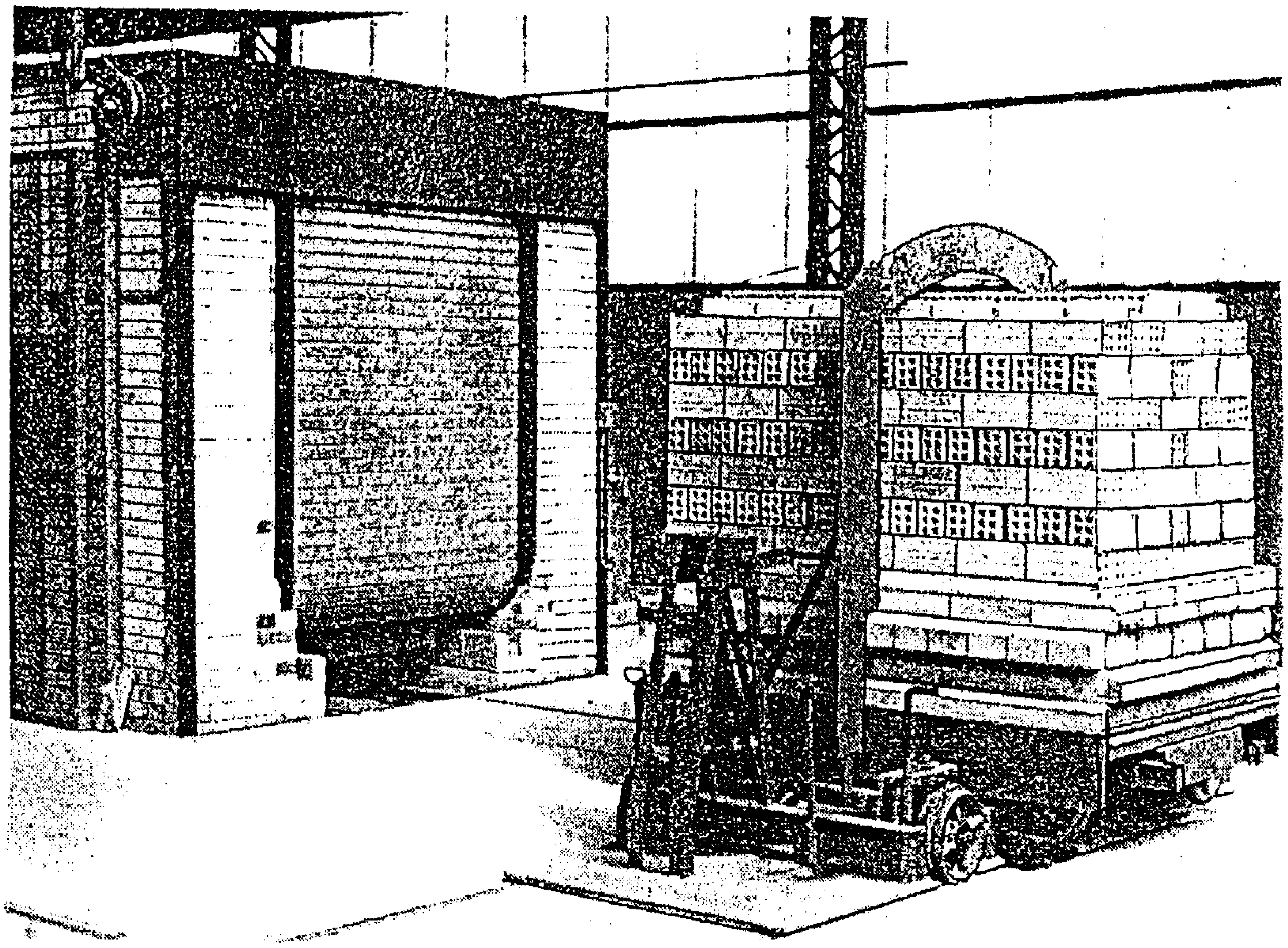
٥- كفاءة الأجهزة للعمليات الميكانيكية.

## توجد بعض العيوب فى الأفران النفقية

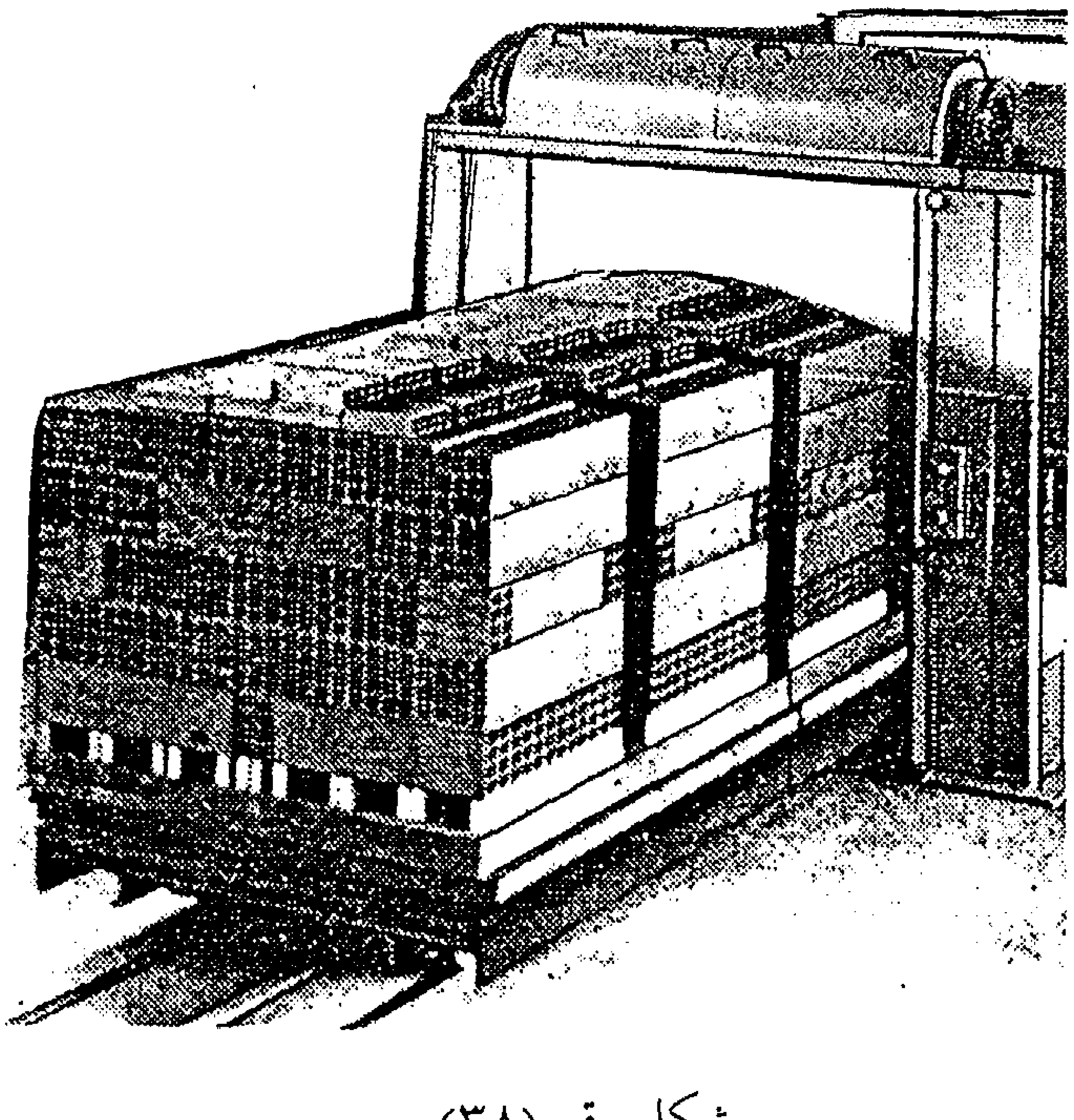
١- يكون من الصعب إستبدال الفرن الدورى Periodic فى المصانع القديمة بأفران نفقية وذلك للإحتياج إلى مساحة كبيرة لطول الفرن.

٢- يتطلب الفرن النفقى إلى عملية إستثمار كبيرة.

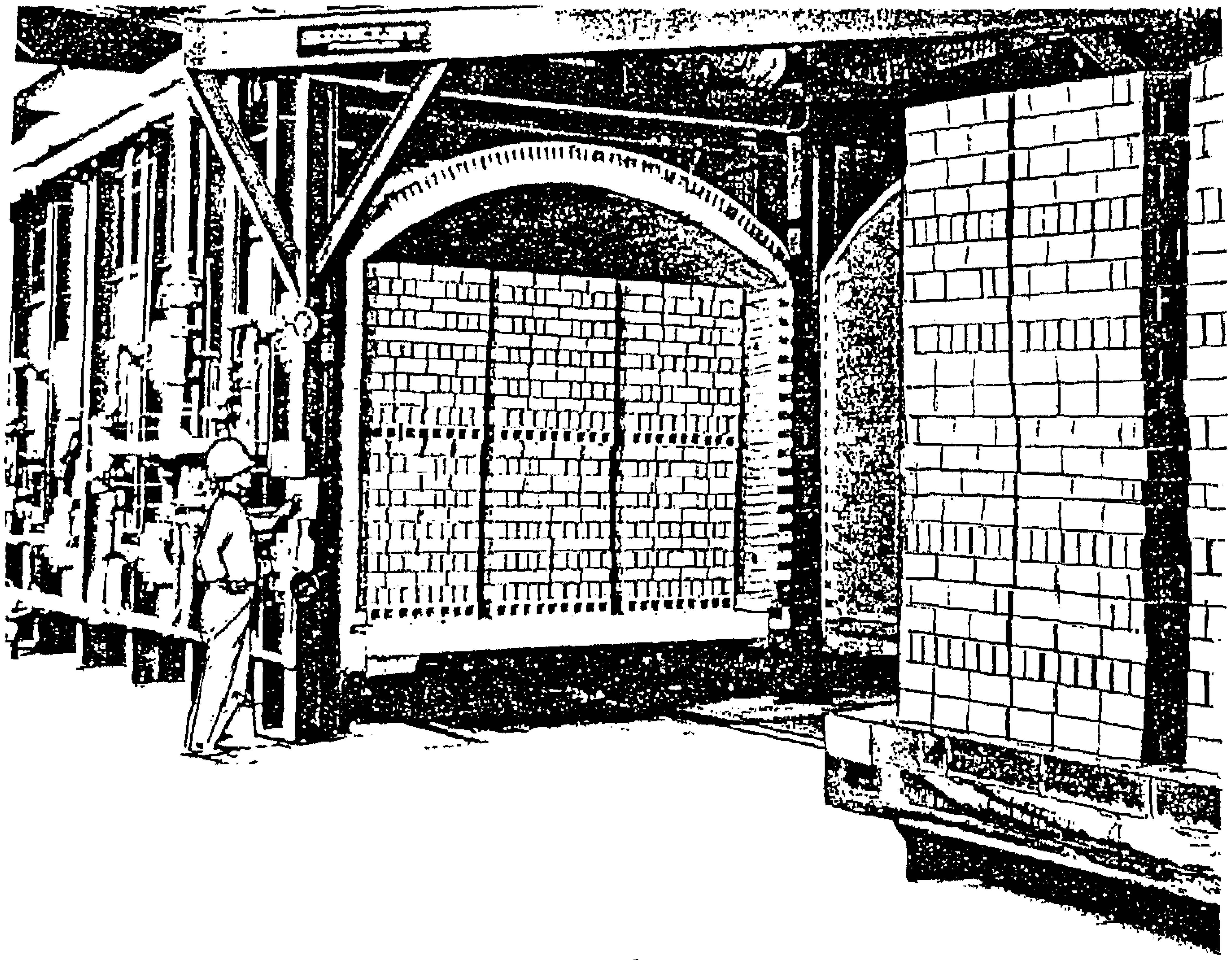
٣- يجب أن يعمل بالكفاءة الكلية للفرن.



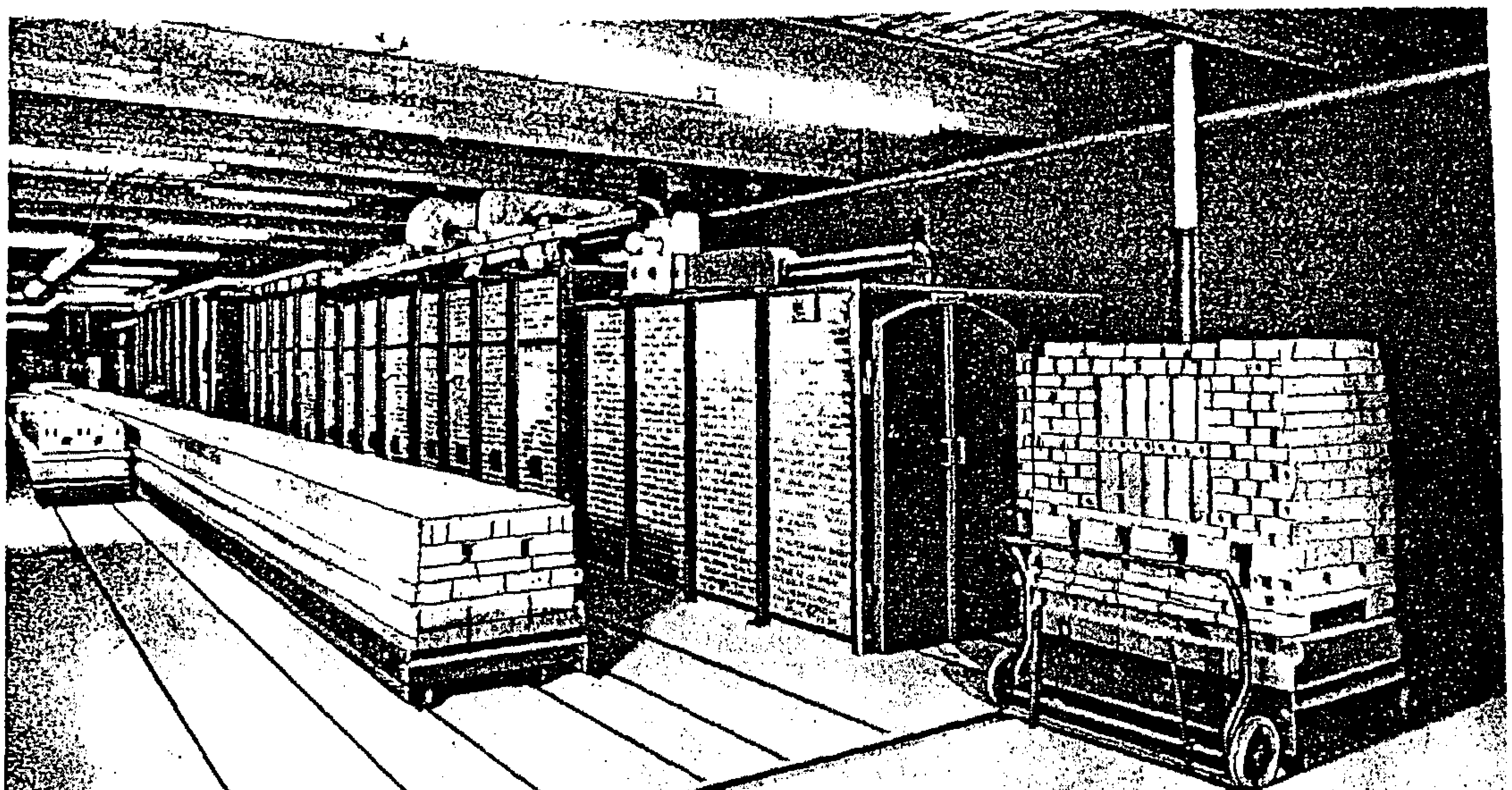
شكل رقم (٣٧)



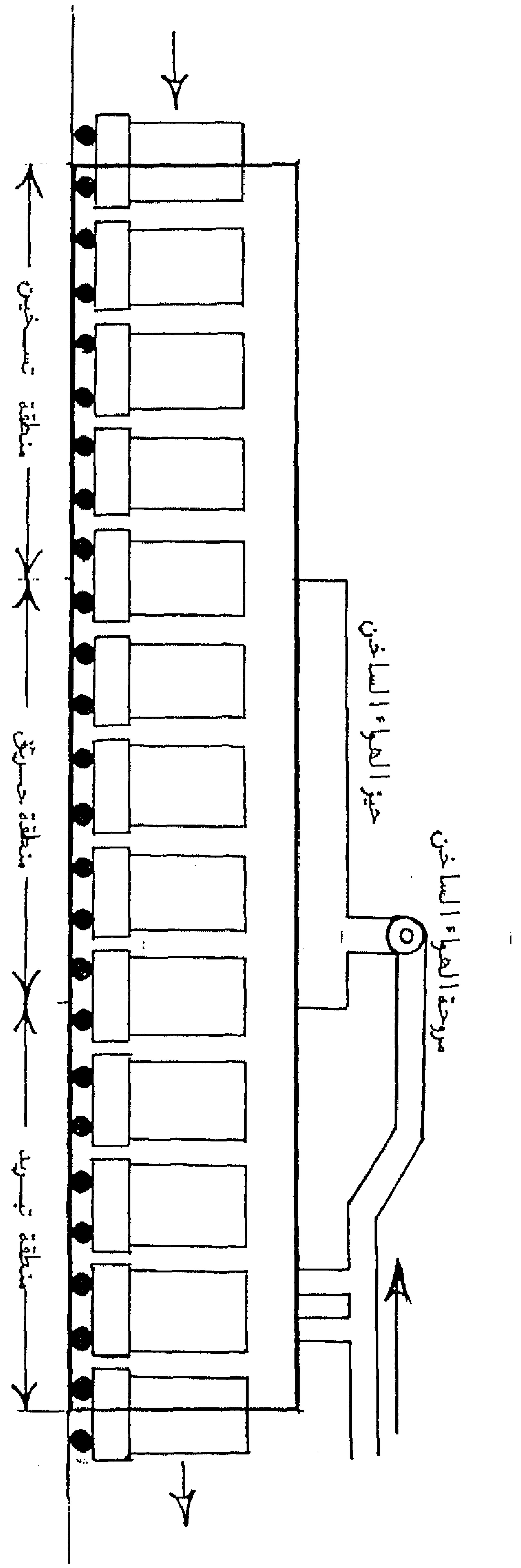
شكل رقم (٣٨)



شكل رقم (٣٩)



شكل رقم (٤٠)




شكل رقم (٤١) : تخطيط لمناطق التسخين المختلفة فى فرن نفقى

## التخطيط العام للأفران النفقية

هذه تشمل نفق منتظم المقطع يمر من خلاله المنتجات محملة على مجموعة من العربات المتحركة أو السيور الناقلة لذلك فإن أى قطعة من المنتجات تمر بالبرنامج الكلى لتوزيع درجات الحرارة على طول الفرن النفقى بينما النفق عادة ما يكون مستقيم وأفقى، ويمكن أن يكون فى شكل دائرة، كما يمكن أن تعرض المنتجات بغازات الحريق المباشر أو أن تسخن بواسطة تيارات الحمل أو التوصيل الحرارى فى غرف حريق مقفلة.

والشكل رقم (٤٢) يوضح جدول حريق لتوزيع درجات الحرارة فى الفرن النفقى حريق مباشر، ويلاحظ أن أى مكان فى الفرن بدرجة حرارة ثابتة (فيما عدا بداية الحريق وفترات التبريد) لذا فإن الحراريات المستخدمة فى بناء الفرن لا تتعرض إلى تغير درجات الحرارة وعمليات التمدد والإنكماش المستمر لهذا يحافظ عليها مدة كبيرة وتدوم لسنوات عديدة، وبعض الأفران يمكن أن تظل مستمرة إلى سنوات تصل إلى ٢٠-٢٥ سنة أما بالنسبة للعربات الحاملة للمنتجات فهى تتعرض لعمليات التسخين والتبريد مع كل شحنة منتجات مما يعرض الطبقة العليا منها إلى التلف وتستبدل كثيراً.

والشكل رقم (٤٣) يوضح مقطع فى عربة خاصة بفرن نفقى وإحكامها داخل الفرن بحيث لا تعمل على فقد الحرارة من خلالها.

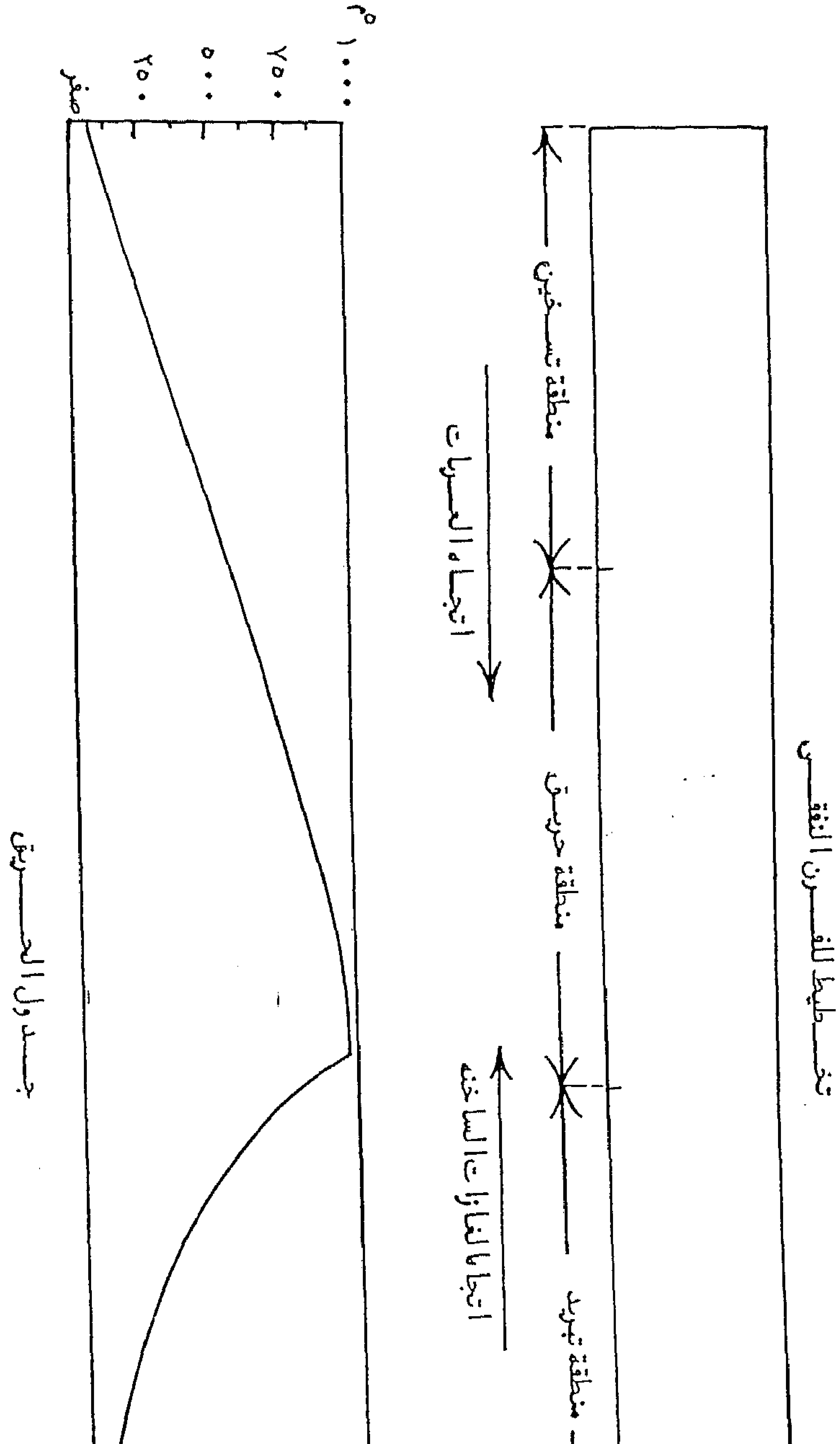
## دورة الحريق فى الفرن النفقى

يتضح من التخطيط شكل رقم (٤٤) إنه يتم التسخين فى النفق قرب المركز (فى منطقة الحريق) ومن تلك المنطقة تمر غازات الحريق أفقياً فى إتجاه عكس حركة العربات المحملة بالمنتجات والداخلة فى منطقة التسخين الأولى، مما يعمل على رفع درجة حرارة المنتجات والتخلص التام من الرطوبة المتبقية بعد التجفيف والتسخين التدريجى لها.

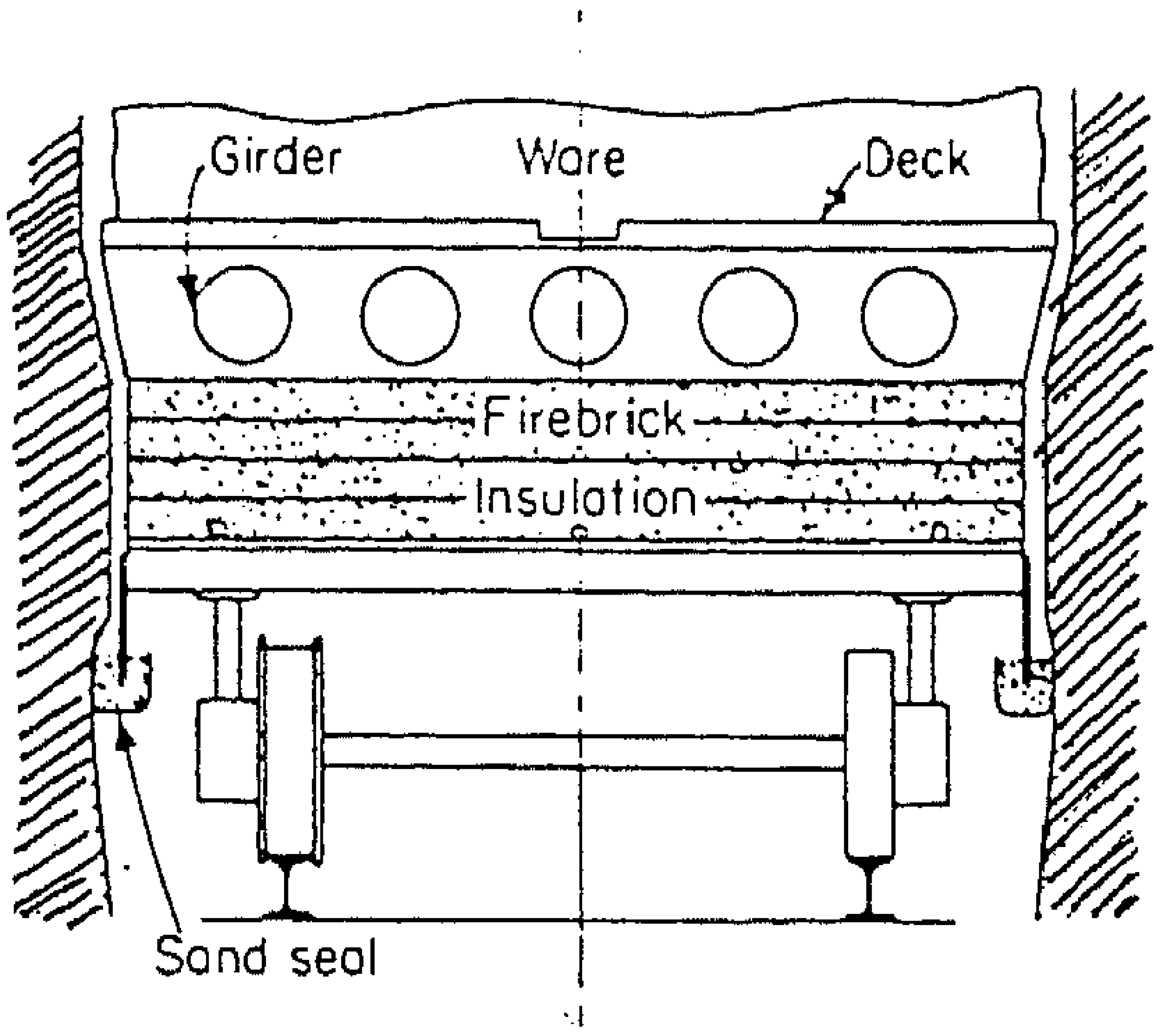
وفى النصف الثانى من الفرن تقع منطقة التبريد حيث يدفع الهواء فوق المنتجات فى إتجاه عكسى يقابل حركة العربات مما يخفض درجة حرارة المنتجات لتبريدها ويعمل على تسخين الهواء الذى يستخدم كله أو جزء منه فى الحريق (شكل رقم ٤١-٤٤).

لذلك يقوم التسخين فى الفرن من غازات الحريق والهواء الساخن نتيجة تبريد المنتجات.

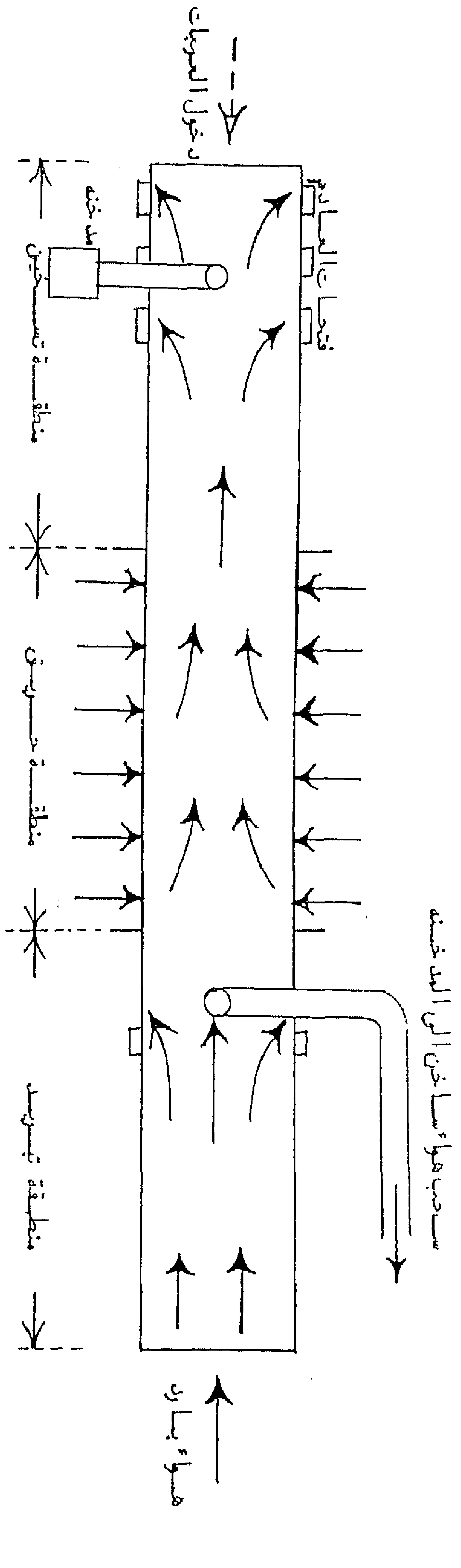
وتحتاج الأفران النفقية عامة إلى كمية من الوقود تصل إلى نصف أو ثلث الكمية التى تحتاجها الأفران الدورية ذات الحريق المتكرر حيث تتميز تلك الأفران بعدم تسخين وتبريد بناء الفرن مع كل دورة حريق.




شكل رقم (٤٢) : جدول حريق توزيع درجات الحرارة فى فرن نفقى




شكل رقم (٤٣) : مقطع فى قاعدة عربة فرن نفقى




شكل رقم (٤٤) : تخطيط يوضح إتجاه هواء التسخين و غازات الحريق

## أجهزة الإشتعال Burners

عادة ما تكون أجهزة الإشتعال فى الأفران بكفاءة صغيرة لذا يوضع عدد كبير منها كاف لتوصيل المنتج إلى درجة الحرارة المطلوبة لتوزيع درجة الحرارة بإنتظام فى منطقة الحريق.

وتركب أجهزة الإشتعال داخل بناء الفرن ليمر اللهب أسفل المنتجات أو فى العربات كما هو موضح فى الشكل رقم (٤٥) الذى يوضح مرور لهب الحريق من الفتحات فى العربة أسفل المنتجات ثم تتجه إلى المنتجات بفعل تيارات الحمل، وفى تلك الحالة تحدد الفتحات فى العربة أمام فتحات أجهزة الأشتعال ليأخذ الحريق دورته عندما تصل العربة إلى منطقة الحريق.

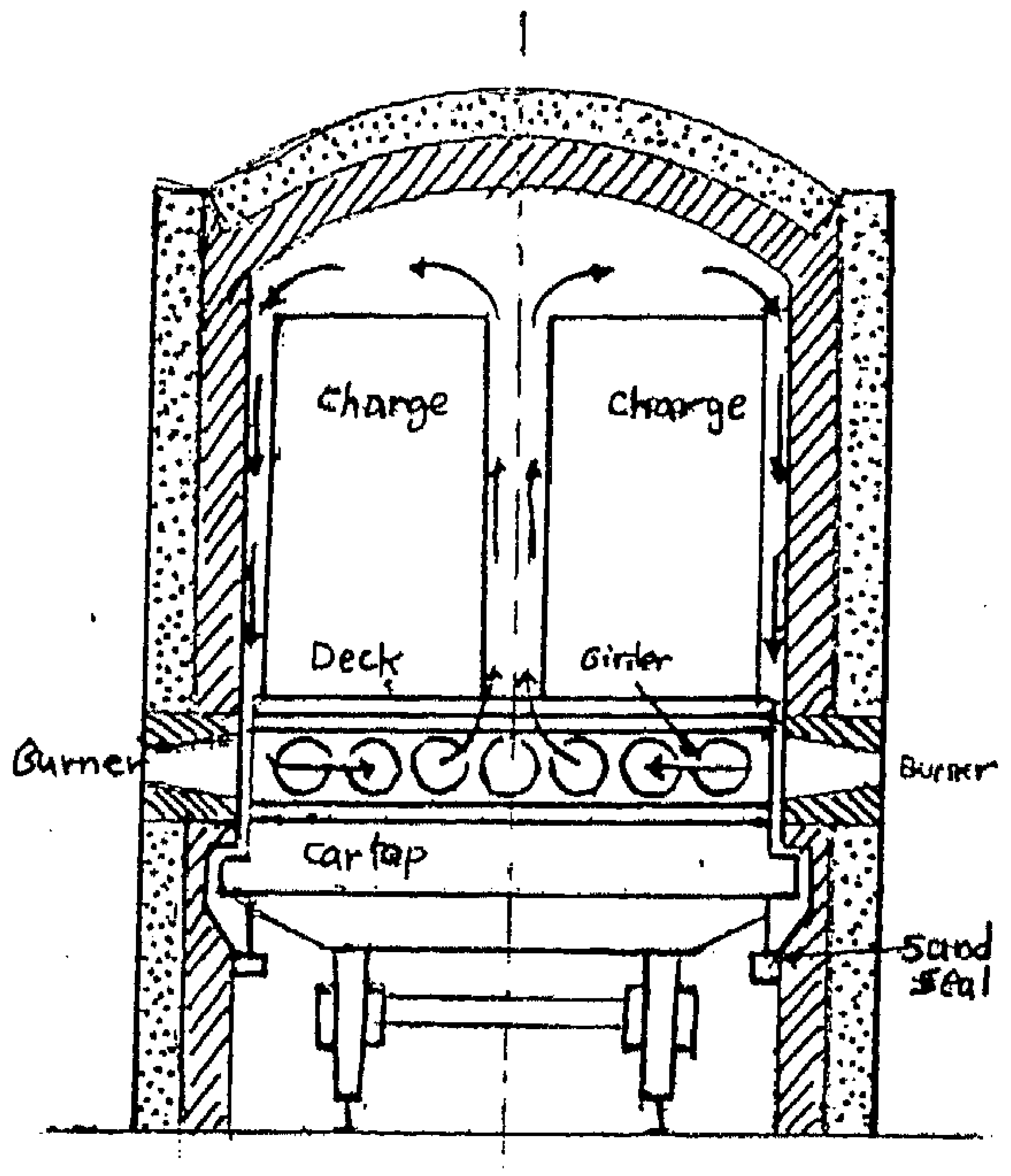
وتتنوع أجهزة الإشتعال ولكن غالباً ما تستخدم الأجهزة فى خلط نسبة الغاز والهواء تحت ضغط منخفض إلى الفوهة حيث يخلطا بتساوى (شكل رقم ٤٦) الذى يوضح مقطع فى جهاز إشتعال بالغاز، ويحرق بهواء ثانوى عادة ما يسخن على ١٥٠-٢٠٠°م من منطقة التبريد، يستخدم فى الوقود إما بالزيت (Oil) حيث يعمل على تذرية الزيت مع الهواء المضغوط أو البخار، وتستخدم الغازات الطبيعية إذا توافرت حيث تكون نقية وسهلة التحكم فى الحرارة.

## الوقود والطاقة

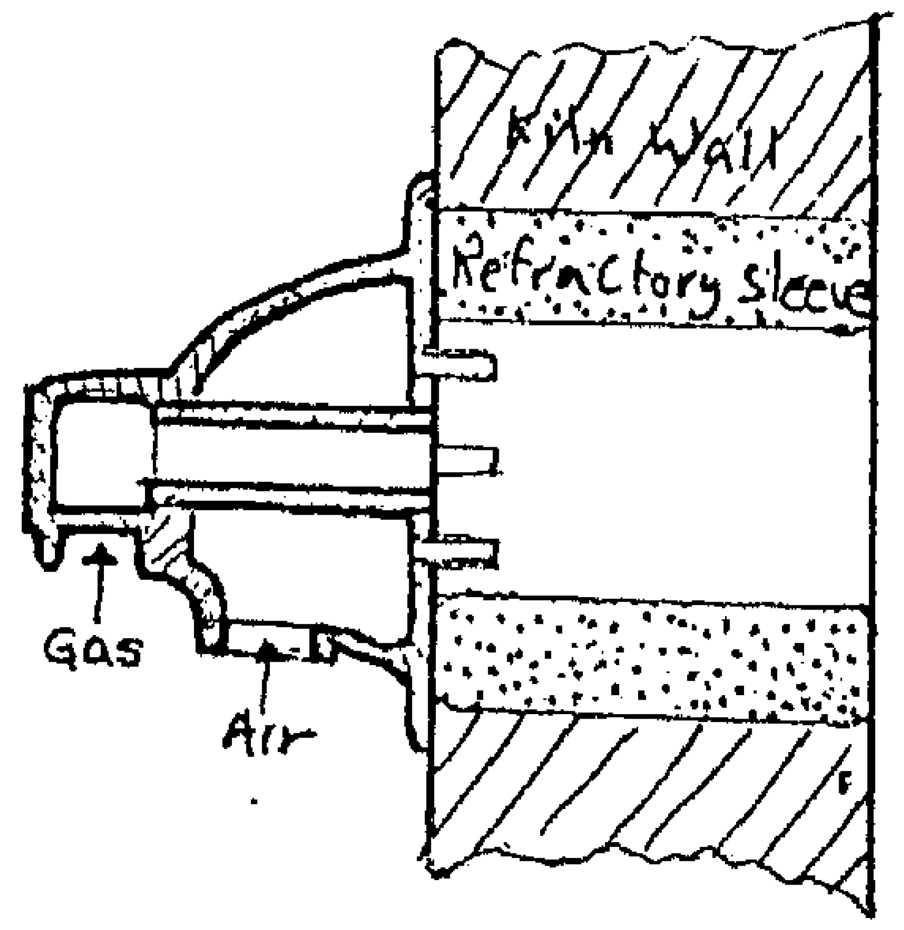
تعتمد صناعة الطوب أساساً على الوقود والطاقة حيث يتم حرق الطوب فى الأفران بإستخدام المازوت عادة وتشغيل الأجهزة وآلات الإنتاج وبعض المجففات الآلية بالطاقة الكهربائية.

وعامة بالنسبة لمصادر الطاقة فى العالم يعتبر فيه الوقود المنخفض الجودة صغير نسبياً، وفى بعض البلاد يستخدم الفحم أو الخشب أو بعض النباتات الملائمة لحرق أفران الطوب فى مصانع المنتجات الطينية الثقيلة كما فى أسكتلندا وكندا والنرويج والسويد وغيرها، كما يعتبر الفحم والليجنيت مصادر هامة للطاقة فى أجزاء كثيرة من العالم كما فى ألمانيا وأستراليا والهند والولايات المتحدة — وغيرها.

يراعى أن تكلفة الوقود لا تنحصر فقط على ثمنه ولكن فى تكلفة العمالة التى يحتاجها إستخدامه من نقل وتغذية الفرن وكذلك تنظيف مكان الحريق أو الفرن من نواتج الحريق، وذلك يتضح من إستخدام الوقود الصلب مثل الفحم أو الخشب أو إستخدام أحد الزيوت السائلة أو الغازات فنجد أن الأولى يتخلف عنها رماد يحتاج إلى إزالة بصفة دورية كما أنها تحتاج إلى عمليات نقل وتغذية الفرن بعكس الزيوت السائلة والغازات لا ينتج عن إستخدامها رماد كما يتم تغذيتها لفرن بواسطة أجهزة تحكم، ويمكن التحكم فى درجات الحرارة المطلوبة نتيجة للتحكم فى نسبة وكفاءة الحريق.




شكل رقم (٤٥) : جهاز الإشتعال و إتجاه لهب الحريق




شكل رقم (٤٦) : قطاع فى جهاز إشتعال بالغاز

لهذا تتجه الصناعات الخزفية الثقيلة إلى إستخدام الزيوت الثقيلة مثل المازوت – كما يمكن إستخدام الغاز الطبيعى إذا توافر ذلك، أو إستخدام غازات البترول السائلة مثل البيوتان أو البروبان Butane and Propane.

## وقود الأفران

وقود الأفران (المازوت) هو أحد المنتجات الثقيلة للبترول الخام يستخدم بكفاءة عالية فى معظم الأفران الصناعية لما له من المزايا الموضحة فيما يلى:

١- قدرة التحكم فى درجة الحرارة.

٢- قدرة التحكم فى جو الحريق من (مؤكسد أو مختزل أو متعادل).

٣- خلو نواتج الحريق من المواد الضارة بالمنتجات.

٤- عدم تخلف رماد عن الحريق.

ويشترك فى تلك المزايا مع سائر أنواع الوقود البترولى الأخرى إلا أن وقود الأفران يمتاز عنها من حيث رخص ثمنه مع عدم وجود فارق كبير فى القدرة الحرارية.

ويتميز عن الوقود الصلب مثل الفحم فى نواحى كثيرة منها:

١- سهولة التخزين.

٢- سهولة ونظافة التداول.

٣- قيمة حرارية أعلى.

٤- قدرة تحكم أفضل فى كل من درجة الحرارة وجو الفرن.

٥- رخص الثمن.

٦- سهولة بدء وإيقاف أجهزة الإشتعال.

٧- إقتصاد فى أجور العمال.

## وقود الديزل ووقود جازاويل

بجانب أنه وقود لمحركات الإشتعال بالضغط فيستخدم كوقود الأفران الصناعية مثل أفران صناعة الطوب أو الزجاج والخزف و.... الخ.

## الكفاءة الحرارية للوقود

عبارة عن الحرارة المنطلقة من الوقود نتيجة احتراقه وتقسم إلى نوعين:

### أ- الكفاءة الحرارية الكلية

هى كمية الحرارة المستهلكة التى تتولد من إحتراق وحدة وزن الوقود بما فى ذلك الحرارة المستهلكة لتوليد البخار من جزء الهيدروجين الموجود فى الوقود.

### ب- الكفاءة الحرارية الخالصة

هى كمية الحرارة المتولدة من أحتراق وحدة وزن من الوقود مع فقد الكمية المستهلكة فى توليد البخار المذكور فى ( أ ).

## الكفاءة الحرارية للأفران

لا تصل كفاءة الأفران إلى حد الإستفادة الكاملة من كمية الحرارة الناتجة من الإحتراق إذ تفقد جزء منها إلى جدران الفرن كما يخرج جزء أخر مع غازات العادم وقد تبلغ الحرارة المفقودة حوالى ثلث الحرارة الناتجة عن الإحتراق.

لذا يبذل المهندسون جهوداً مستمرة للتقليل من مقدار الحرارة المفقودة والإستفادة الأكبر من الحرارة الناتجة عن الإحتراق، كما يمكن الإقتصاد فى تكاليف الوقود بإتباع القواعد التى تكفل أعلى كفاءة للإحتراق والمحافظة على أجهزة الإشتعال فى حالة جيدة كما يمكن الوصول إلى أكبر قدر من الكفاءة والإقتصاد فى الوقود باتباع ما يلى:

١- قياس الكميات المطلوبة من الهواء والوقود اللازم للإحتراق.

٢- الخلط الجيد للوقود والهواء لضمان جودة الإحتراق.

## الهواء اللازم للحريق

يحتاج الوقود السائل عادة لحرقه كاملاً من ١٤ إلى ١٥رطل هواء لكل رطل وقود إلا أنه عادة ما تدفع كمية إضافية من الهواء تبلغ حوالى ٣٠% من الكمية اللازمة للحرق الكامل فتبلغ تلك النسبة حوالى ٢٠ رطل ولكن يراعى إلا تزيد النسبة عن ذلك لكى لا يسبب هذا تبريد اللهب وخفض الكفاءة الحرارية للأفران.

## الإستفادة من الحرارة المفقودة مع غازات العادم

تستخدم غازات العادم والحرارة الناتجة من غرف التبريد فى تسخين الهواء اللازم للإحتراق قبل دخول غرفة الإحتراق، وكذلك تسخين المنتجات فى المرحلة الأولى من الحريق والمنتجات الداخلة للفرن وهذا التسخين الإبتدائى هام فى رفع كفاءة الفرن من حيث إستخدام الحرارة.

**وللاستفادة الكاملة من الإمكانيات الحرارية للوقود يراعى ما يلى:**

١- التذرية الجيدة للوقود السائل.

٢- معايرة كمية الهواء اللازمة للإحتراق الكامل للوقود المحقون.

٣- مزج الهواء بالوقود المذرى.

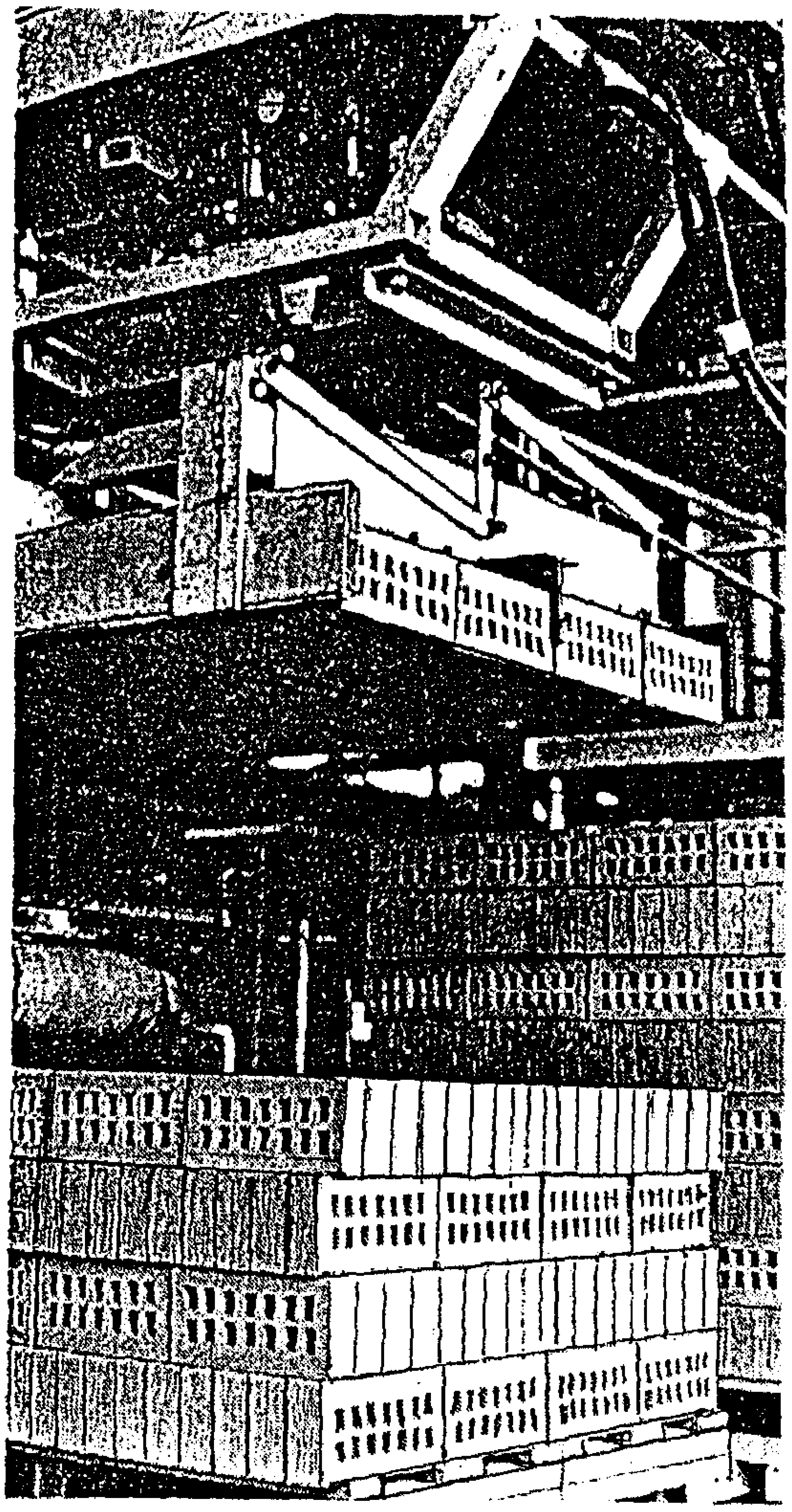
وهذا ما يؤدى إلى الإحتراق الكامل للوقود وبالتالى يؤدى إلى توليد أقصى ما يمكن للوقود توليده من حرارة.

وللتحكم فى ذلك يلزم أن يكون فى الإمكان معايرة كمية هواء الإحتراق، وكذلك التأكد من درجة تمام الإحتراق.

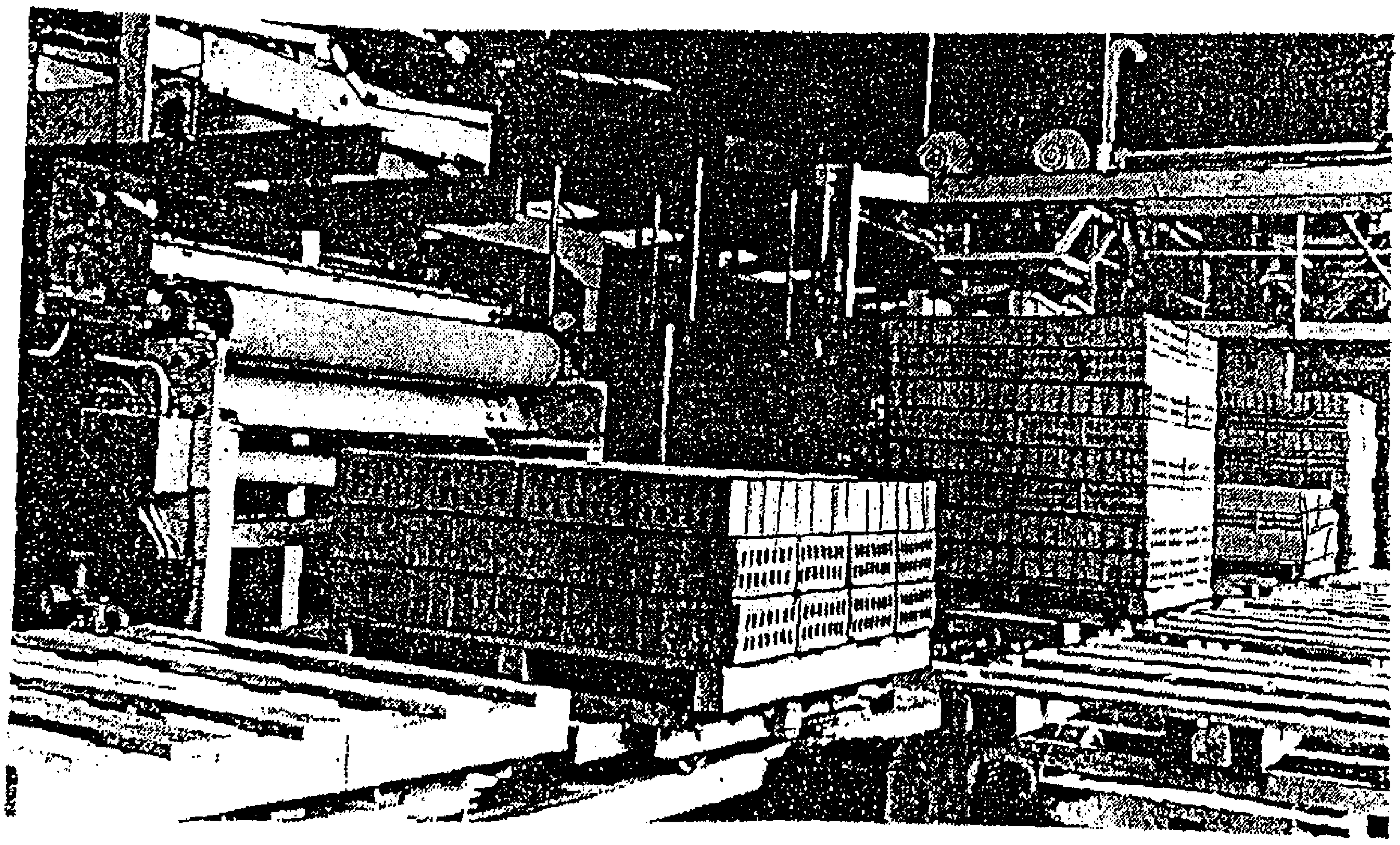
## عمليات الرص والنقل بعد مرحلتى التجفيف والحريق

تستخدم المصانع الأكثر آلية عمليات شحن وتفريغ عربات الحريق آلياً بنقل الطوب بعد عملية التجفيف على العربات الخاصة بالتجفيف إلى عربات الحريق فى (مداميك) صفوف معينة، كما يمكن إجراء عملية تفريغ بعد الحريق بنفس الطريقة ولكن فى صورة عكسية بتجميع الطوب ونقله إلى أماكن التخزين ولذلك تحتاج عملية الرص على عربات الحريق إلى عملية تفريق للطوب لعمل ممرات بين الطوب تعمل على تنظيم مرور اللهب أو الغازات الساخنة حول الطوب أثناء الحريق أما فى عملية التفريغ يتم تجميع الطوب أولاً ثم نقله من على عربات الحريق إلى أماكن التخزين.

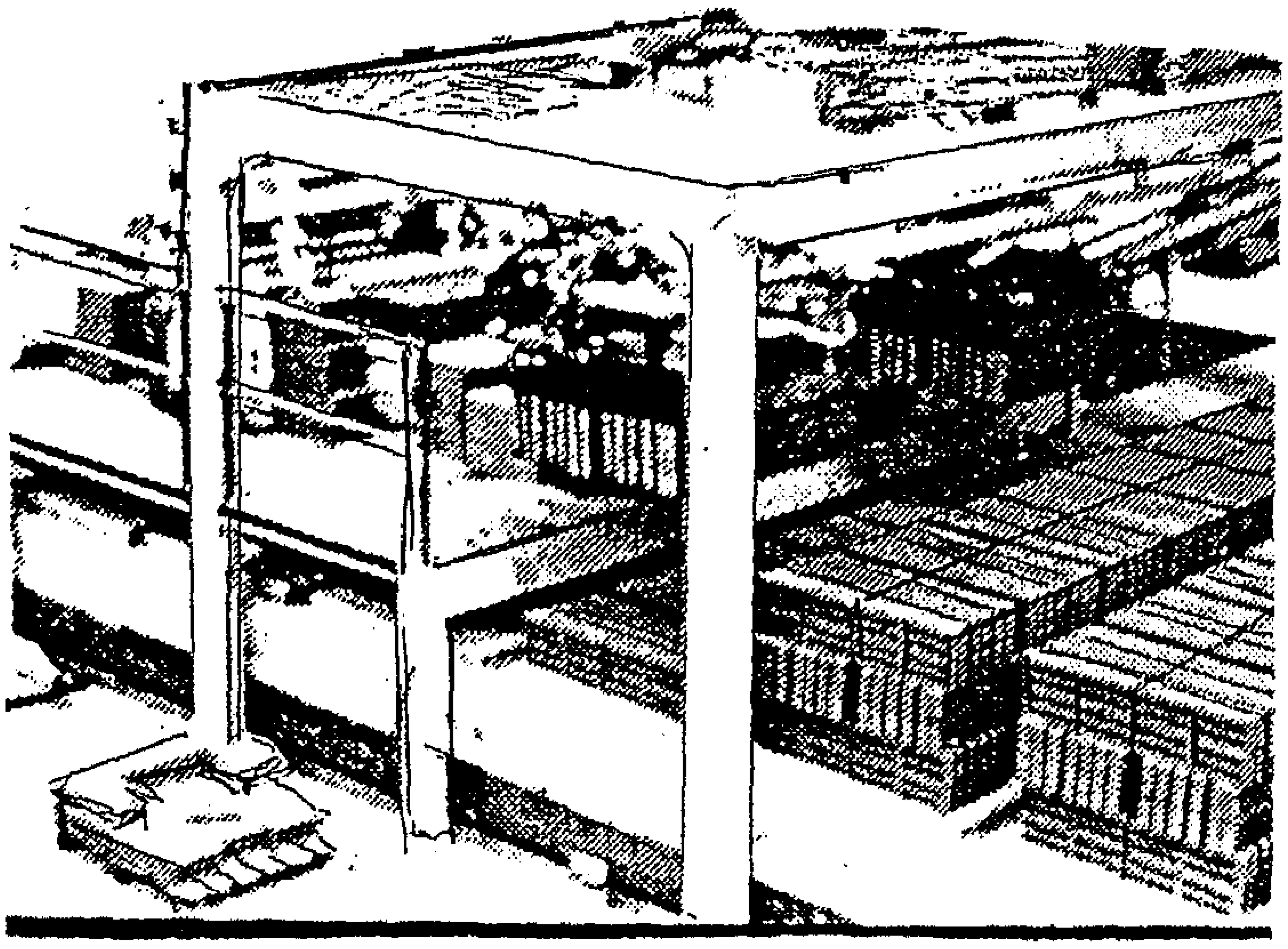
والأشكال رقم (٤٧-٤٩) توضح بعض نماذج الماكينات الآلية لنقل الطوب قبل وبعد الحريق.
وشكل رقم (٥٠) لرصات الطوب على عربات الحريق.



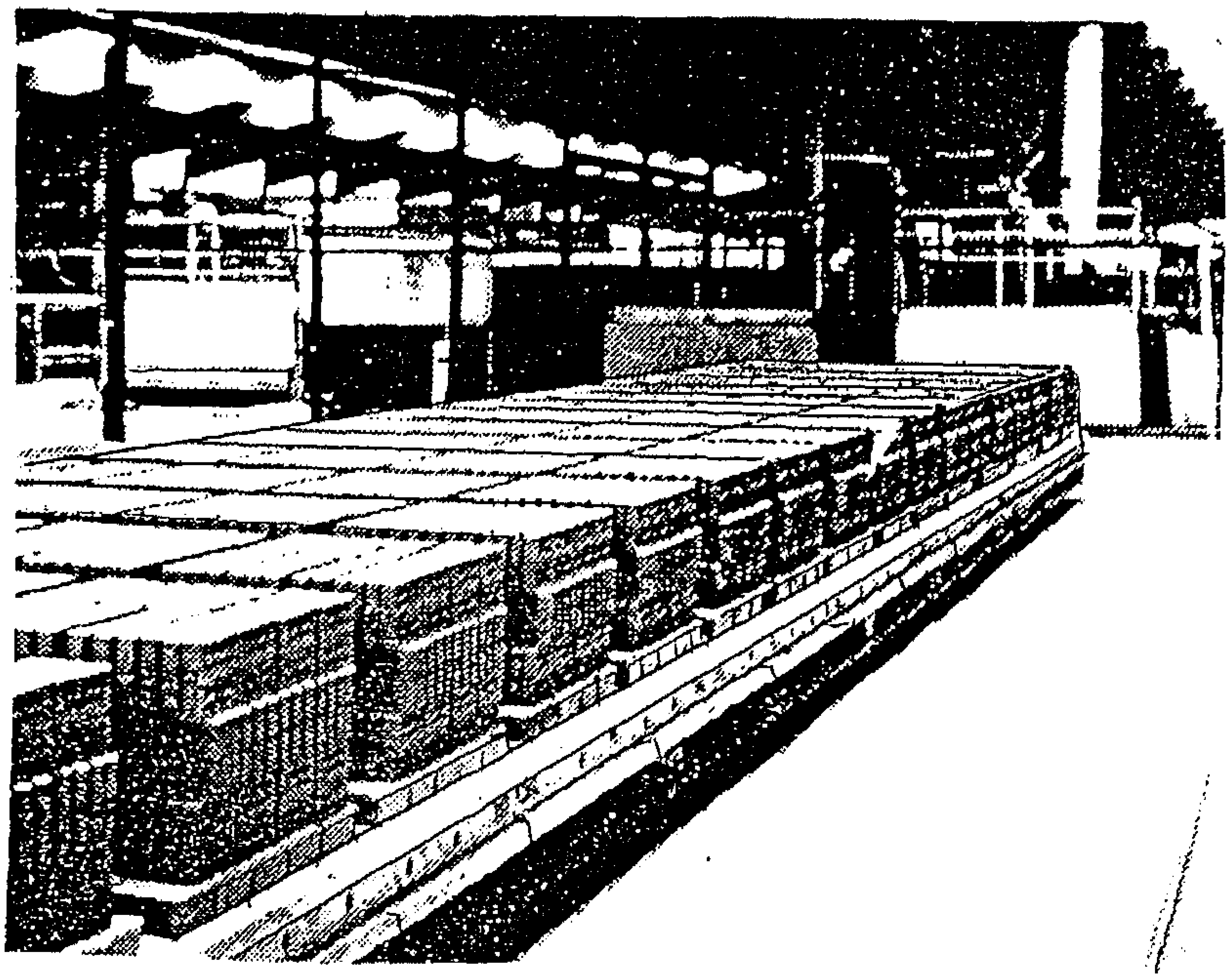
شكل رقم (٤٧)



شكل رقم (٤٨)



شكل رقم (٤٩)



شكل رقم (٥٠)

## ملاحظات هامة فى مراحل تشغيل الطوب فى طريقة التشكيل بالبثق

١- يجب التأكد قبل إقامة المصنع من توافر المواد الخام المختارة وسهولة الحصول عليها وذلك بتعيين إمتدادها وعمقها وكفاءتها.

٢- فى تخزين المواد الخام على شكل (كومة) تحتاج إلى مساحة تزيد ٢٥% من حجمها.

٣- يجب تخزين كميات إحتياطية من الخامات المختارة فى التصنيع وعادة ما تصل الكمية إلى ما يحتاجه إنتاج شهر أو أن تخزن كمية أحتياطية تعادل الكمية التى تنتج فى ضعف المدة اللازمة للتوريد وذلك للمحافظة على معدل الإنتاج دون الأرتباط بمعدل التوريد.

٤- نسبة الماء المضاف إلى الطفلة لكى تصبح ملائمة للتشكيل تكون فى حدود معينة لكى لا تسبب مشاكل وعيوب الشرخ أو الإلتواء أثناء تخلص الجسم منها فى مرحلتى التجفيف والحريق.

٥- تتأثر عملية البثق كثيراً بعملية الدوران والقطع أو التمزيق للطفلة والذى ينبغى أن تتحد مرة أخرى فى شكل عمود قبل أن تخرج من ضبعة التشكيل على هيئة عمود منتظم يتم تقسيمه إلى الأبعاد المطلوبة، ويمكن أن يحدث تشقق فى الطوب الناتج بسبب الأنسياب غير المنتظم للطفلة عند دفعها من ضبعة التشكيل، وقد لا يتضح هذا العيب أثناء التشكيل ولكنه يظهر بعد مرحلة التجفيف والحريق (انظر عيوب التشكيل بالبثق فى الجزء الأول من فصول فى الخزف صفحة ١١٢-١١٤).

٦- الطفلة ذات اللدونة العالية صعبة التشكيل بماكينة البثق حيث تلتصق بأجزاء الماكينة وتحتاج لضغط عالى وتؤدى لصعوبات كثيرة – لذا تعالج الطفلات ذات اللدونة العالية بإضافة الرمل أو الجروح الناعم (كسر المنتج المحروق) مار من منخل ٠,٣١٢ مم ويمكن أن تصل نسبة المواد غير اللدنة المضافة إلى الطفلات عالية اللدونة إلى ٥٠% وعامة نسبة الرمل يمكن أن تصل إلى ٣٠% من التركيب.

٧- بجانب تأثير إضافة الرمل على خفض درجة لدونة الطفلة فى صناعة الطوب فهو يقلل أيضاً من درجة إنكماش الجسم بعد الحرق وينظم عملية التجفيف وتلافى بعض عيوب التجفيف من شرخ وتشقق مع ملافاة تشوه الجسم أثناء عملية الحريق.

٨- يجب أن يكون حجم حبيبات الرمل المضاف بحجم لا يزيد عن ١ مم.

٩- وجود الجير (كربونات الكالسيوم) أو الجبس والأملاح القابلة للذوبان فى الطفلة وإضافتها يؤدى إلى عيوب كبيرة فى المنتج.

وجود حبيبات الجير فى الجسم يكون عرضه لإمتصاص الرطوبة من الجو المحيط بعد الحريق، ويحدث تمدد كبير لتلك الحبيبات مما يؤدى إلى تشقق للطبقة المحيطة بها مما يضعف التحمل

للضغط كما تشوه الطبقة التى تعلوها فى حالة وجود مركبات الكالسيوم فى الطفلة أو الإضافات. لذلك يجب أن تكون ذات نعومة تقل عن ١مم.

كذلك فى وجود الأملاح القابلة للذوبان يؤدى إلى حدوث ظاهرة التزهر Efflouresence.

١٠- وجود الشوائب مثل أكاسيد الحديد ومساعدات الصهر الأخرى كميات كبيرة فى تركيب الطفلة يساعد على عمليات التزجج للمنتج المحروق فى درجات حرارة منخفضة نسبياً (٨٥٠-١٠٠٠)°م.

١١- يراعى دراسة الخواص الطبيعية للطفلة المستخدمة والإضافات وحساب نسبة الإنكماش الكلى للتركيب وذلك لضبط أبعاد الشكل المطلوب قبل الحريق وهذا بعمل الضبعة المستخدمة فى تشكيل الطوب بالأبعاد المطلوبة مضاف إليها نسبة الإنكماش.

١٢- يمكن عمل خطوط غائرة فى جوانب الطوبة تعمل على زيادة تماسكها مع الملاط (المونة) المستخدم فى البناء، ويتم هذا فى تشكيلها بضبعة التشكيل التى تأخذ شكل مقطع الطوبة (وأبعاد قبل الإنكماش).

١٣- فى الطرق الأكثر آلية يفضل إستخدام الطوب المفرغ لسرعة تجفيفه وحريقه مع تميزه بإقتصاديات الإنتاج عن الطوب المصمت حيث يستهلك كمية أقل من الخامات كما يوفر من الوقود والطاقة المستخدمة فى مرحلتى التجفيف والحريق حيث يستغرق وقت أقل فى كل من المرحلتين عن الطوب المصمت.

١٤- يفضل إستخدام الطفلات اليابسة عن اللدنة للسهولة النسبية فى التجفيف لإحتوائها نسبة أقل من الرطوبة، ففى الطوب المشكل من بعض الطفلات اليابسة أو بطريقة الضغط الجاف يمكن أن ترص مباشرة فى الفرن وخاصة أفران هوفمان.

١٥- ترفع درجات الحرارة داخل المجفف تدريجياً وببطء، عادة ما يكون بمعدل من ٥٠-٨٠ °م/ساعة للحفاظ على معدل تكوين المسام داخل الطوبة وتنظيم معدل خروج بخار الماء خلال الجسم إلى السطح.

١٦- تراعى الفراغات والممرات التى تترك بين الطوب على عربات الحريق بحيث لا يكون الطوب فى إتصال مباشر مع اللهب، بل تحسب المسافات الموضوع فيها لمبات الأحتراق بحيث يكون اللهب فى الممرات بين الطوب أثناء الحريق، لذلك تترك مسافة فى منتصف كل عربة وتدخل العربة على مرحلتين داخل الفرن لضبط وجود اللهب بين أعمدة الطوب.

١٧- تختلف درجات الحرارة داخل الفرن النفقى وقد تصل إلى ١٠٠°م من قمة الفرن إلى أسفله أو من خارج إلى داخل صفوف الطوب على العربات، ولكن هذا ليس له تأثير كبير بشرط أن يكون الحريق فى المدى الحرارى المطلوب ٩٥٠-١٠٥٠°م تقريباً.

١٨- ينبغى ألا يزيد فاقد الإنتاج فى مراحل التشغيل المختلفة عن ٥% من جملة الإنتاج.

# الجزء الرابع

# تعيين خصائص المنتج

# بعد الحريق

## تعيين خصائص المنتج بعد الحريق

فى الفترات المبكرة لإجراء الإختبارات عن الأجسام الخزفية كان يتم الاعتماد فى معرفة خصائص الحريق على تعيين نسبة إنكماش الجسم والفاقد فى الوزن.

أما بعد التطورات التكنولوجية والعلمية تستخدم عدة طرق لقياس خصائص الحريق مثل التحليل الحرارى التفاضلى والتحليل بواسطة الأشعة السينية والميكرسكوب الاليكترونى وغيرها..، ومن نتائج تلك الإختبارات يمكن إعطاء صورة واضحة متكاملة عن خصائص المنتج بعد الحريق.

وعن إنكماش الجسم بعد الحريق أهمية فى تعيين أبعاد الطوبة قبل التشكيل بحيث تعطى الأبعاد المطلوبة للطوب المحروق، وتختلف تلك النسبة من نوعية لأخرى ويرجع سبب الإنكماش المصاحب للحريق إلى:

١- نقص حجم الجسم بسبب طرد الماء وثانى أكسيد الكربون ونواتج الحريق.

٢- التجاذب الشعرى لبلورات الصنف الزجاجى وما يترتب عليه من طرد الهواء من المسام.

وقد سبق توضيح أسباب حدوث الإنكماش فى الجسم (فى الجزء الخاص بالتجفيف من هذا الفصل).

## تعيين الإنكماش الطولى

يمكن تعيين النسبة المئوية للإنكماش الطولى قبل وبعد الحريق بطرق بسيطة بعمل وحدات من الطفلة المستخدمة وقياسها فى مراحل التشغيل المختلفة قبل وبعد الحريق وتعيين النسبة المئوية للإنكماش الطولى تبعاً للمواصفات القياسية الأمريكية AST'(70) C326-56 وذلك كما يلى:

١- توضع علامتين على العينة المشكلة من الطفلة المستخدمة (بعد التشكيل مباشرة) محدد البعد بينهما بدقة بواسطة "ميكروميتر" Micrometer.

٢- تقاس نفس المسافة (بين العلامتين) بعد تجفيف العينة على ١١٠°م.

٣- يقاس البعد بين العلامتين بعد الحريق فى درجات الحرارة ا لمطلوبة

٤- تحسب النسبة المئوية للإنكماش الطولى بعد التجفيف وبعد الحريق بتطبيق المعادلة التالية

$$\text{الإنكماش الطولى } (\%) = \frac{ل_1 - ل_2}{ل_2} \times ١٠٠$$

حيث $ل_1$ = طول عينة الإختبار بعد التشكيل مباشرة.

$ل_2$ = الطول بعد التجفيف أو الحريق.

الإختبارات الطبيعية والكيميائية التى تجرى على جميع أنواع الطوب تبعا للطرق القياسية المصرية (م.ق. - ١٩٦٠/٤٨).

يجب أن تجرى بعض الإختبارات الطبيعية والكيميائية على الطوب الناتج وذلك لتحديد مدى ملاءمته للمواصفات القياسية وتحديد جودته، ويشمل هذا طرق قياسية لفحص وتحليل نوعية الطوب من:

١- طرق إختيار العينات.
٢- قياس الأبعاد.
٣- قياس الإمتصاص للماء وحساب معامل التشبع.
٤- قياس الإنكماش الناتج عن الجفاف.
٥- قياس المقاومة للضغط.
٦- التزهير.
٧- التحليل الكيميائى.

## أولاً: طرق إختيار العينات

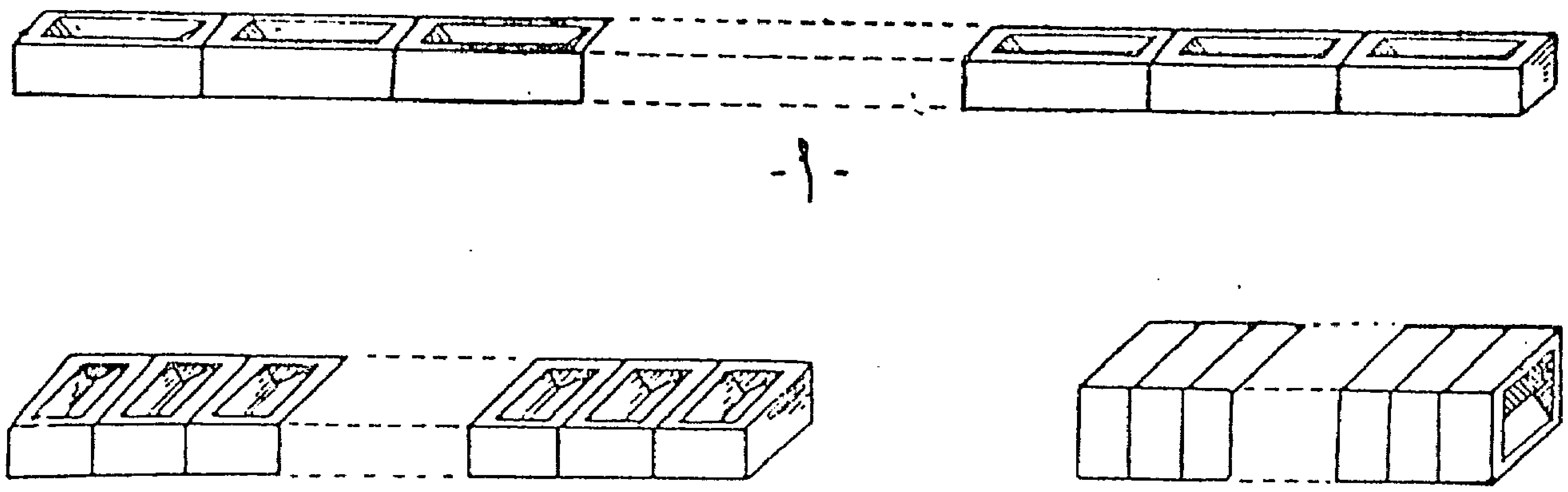
يجب أن تكون عينات الطوب الذى يجرى عليه الإختبارات ممثلة للإنتاج التجارى بمعدل ١٥ طوبة لكل ٢٠ ألف طوبة منتجة أو أقل، وتحفظ العينات فى مكان جاف بعيداً عن سطح الأرض لحين إجراء الإختبارات عليها.

ويجب أن تختار العينات اللازمة من أماكن مختلفة دون تحديد تبعا للمواصفات إما من الرصات أو أثناء النقل من الشحنات المختلفة.

## ثانياً: قياس الأبعاد

يؤخذ متوسط أبعاد ١٠ طوبات، وذلك بأن يرص الطوب متلاصقا وملامساً خط مستقيم على سطح مستو (كما هو مبين بالشكل رقم ٥١) لإيجاد أبعاد كل من الطول والعرض والسمك ويحدد مجموع أبعاد الطوب لأقرب ملليمتر ثم يقسم على عدد الطوب ١٠ للحصول على متوسط أبعاد الطوبة الواحدة.

يجب مراعاة إزالة ما يكون عالق على سطح الطوب من رمال أو حبيبات بارزة أو نتوءات قبل إجراء هذا الإختبار.




شكل رقم (٥١) : الأوضـاع المختلفـة لتعيين أبعـاد الطـوب
( أ ) للطول (ب) للعرض (جـ) للسمك

## ثالثاً : قياس إمتصاص الماء وحساب معامل التشبع

يجرى هذا الإختبار على خمس عينات من الطوب ممثله للإنتاج ويستخدم ميزان حساس إلى أقرب ٠,١ جرام.

توجد طريقتين لتعيين إمتصاص الماء وحساب معامل التشبع من طريقة الغمر فى الماء لمدة ٢٤ ساعة أو بطريقة الغليان لمدة خمس ساعات وذلك كما موضح فيما يلى:

### طريقة الغمر فى الماء لمدة ٢٤ ساعة

- تجفف العينات فى مجفف إلى درجة ١١٠°م-١١٥°م حتى يثبت وزنها وتترك لتبرد لمدة ساعة على الأكثر ويعين وزنها وهى جافة.
- تغمر غمراً تاماً فى ماء نقى درجة حرارته من ١٥-٣٠°م لمدة ٢٤ ساعة.
- ترفع كل عينة وتمسح بقطعة قماش مبللة لإزالة الماء العالق بها.
- توزن مباشرة ويحدد الوزن وهى مشبعة بالماء.

### طريقة الغليان لمدة خمس ساعات

- توضع العينات التى أجرى عليها اختبار الغمر فى الماء لمدة ٢٤ ساعة بعد وزنها مباشرة فى حوض مائى يسمح بإحاطة الماء لجميع جوانب الطوب المستخدم فى الاختبار وذلك بوضعها على شبكة لضمان سريان الماء بين الطوب وقاع الحمام المائى.
- يسخن الماء إلى درجة الغليان ويستمر الغليان لمدة خمس ساعات.
- يترك الماء ليبرد.
- توزن كل عينة وهى مغمورة بأكملها فى ماء درجة حرارته من ١٥-٣٠°م.
- ترفع العينة من الماء وتمسح سطوحها بقطعة قماش مبلله.
- توزن مباشرة ويحدد وزنها وهى مشبعة.

### تعين حجم الطوبة

يعين حجم الطوبة من الفرق بين وزن الطوبة المشبعة بالماء ووزنها وهى مغمورة فى الماء.

### حساب إمتصاص الماء

من الطريقتين السابقتين يمكن تحديد النسبة المئوية لإمتصاص الجسم للماء وذلك كما يلى:

إذا كان أ = وزن الطوبة الجافة.

ب = وزن الطوبة بعد غمرها فى ماء بارد لمدة ٢٤ ساعة.

ب/ = وزن الطوب بعد غمرها فى ماء يغلى لمدة خمس ساعات.

جـ= وزن الطوبة وهى مغمورة فى الماء درجة حرارته من ١٥-٣٠°م بعد الغليان لمدة خمس ساعات فيكون:

النسبة المئوية لإمتصاص الماء بالوزن (بعد الغمر لمدة ٢٤ ساعة) = $\frac{\text{ب} - \text{أ}}{\text{أ}} \times ١٠٠$

النسبة المئوية لإمتصاص الماء بالحجم (بعد الغمر لمدة ٢٤ ساعة) = $\frac{\text{ب} - \text{أ}}{\text{ب} - \text{جـ}} \times ١٠٠$

النسبة المئوية للإمتصاص بالوزن (بعد الغليان ٥ ساعات) = $\frac{\text{ب}' - \text{أ}}{\text{أ}} \times ١٠٠$

النسبة المئوية للإمتصاص بالحجم (بعد الغليان ٥ ساعات) = $\frac{\text{ب}' - \text{أ}}{\text{ب}' - \text{جـ}} \times ١٠٠$

## حساب معامل التشبع

يمكن حساب معامل التشبع من الإجراء السابق كما يلى:

معامل التشبع = $\frac{\text{ب} - \text{أ}}{\text{ب}' - \text{أ}}$

## رابعاً: قياس الإنكماش الناتج عن الجفاف

يقصد بالإنكماش الناتج عن الجفاف بالتغير فى الأبعاد الطولية الذى يحدث فى الطوبة المحروقة نتيجة لتغير نسبة الرطوبة بها.

ولتعيين هذا يجرى إختبار على ٥ طوبات كاملة تبعاً للطريقة القياسية ويحدد طول الطوبة وهى مبللة وكذلك فى حالة الجفاف وحساب الفرق بين الطول فى الحالتين بالنسبة المئوية للطول الجاف يعطى نسبة الإنكماش الناتج عن الجفاف تبعاً للمواصفات القياسية المصرية رقم (٤٨/١٩٦٠) وتتمدد بعض العينات بالجفاف ويعتبر هذا (إنكماشاً سلبياً).

## خامساً: قياس المقاومة للضغط

- يجرى الإختبار على عدد ٥ من الطوب ممثلة للإنتاج ويجرى على سطحى التحميل (المستخدم فى البناء).

- تحسب الأبعاد الأفقية لكل سطح إلى أقرب ملليمتر وتؤخذ المساحة الصغرى لأحد السطحين فى حساب مقاومة الضغط.
- ولتجهيز العينات للإختبار بالنسبة للطوب المصمت الخالى من الفجوات بغمره فى ماء درجة حرارته من ١٥-٣٠°م لمدة ٣ أيام قبل إجراء الاختبار.
- يجرى قياس المقاومة للضغط تبعا للمواصفات القياسية المصرية رقم (٤٨/١٩٦٠).
- تحسب مقاومة الطوب للضغط بقسمة الضغط المستخدم بالكيلو جرام على مساحة الطوبة بالسنتيمتر المربع، ويؤخذ المتوسط الحسابى للخمس طوبات ويكون هذا هو مقاومة العينة للضغط، بالكيلو جرام على السنتيميتر المربع.

## سادساً: التزهير

- يجرى الإختبار على عدد ٥ طوبات كاملة كما فى المواصفات القياسية المصرية (رقم ٤٨/ ١٩٦٠) لإختبار الطوبة لظاهرة (التزهير) وهى ظهور الرواسب الملحية على سطح الطوبة عند تعرضها للماء (معدوم – خفيف – متوسط – ثقيل - ثقيل جداً).

أ - معدوم: إذا لم يشاهد تزهير ما.

ب - خفيف: إذا شوهدت رواسب ملحية خفيفة لا تزيد عن ١٠% من مساحة الطوبة.

جـ- متوسط: إذا شوهدت رواسب ملحية أكثر من الدرجة السابقة ولا تزيد عن مساحة ٥٠% من مساحة الطوب (بحيث لا يصحب ذلك تفتت أو تقشر فى السطح).

د - ثقيل: إذا غطت الرواسب الملحية ٥٠% أو أكثر من سطح الطوبة (دون أن يصحب ذلك تفتت أو تقشر فى السطح).

هـ - ثقيل جداً: إذا ترسبت الرواسب الملحية بكثرة على سطح الطوبة وصحب ذلك تفتت أو تقشر للسطح أو كليهما مع ميل للزيادة كلما تكرر بلل العينة بالماء.

## سابعاً: التحليل الكيميائى

- يعد مسحوق العينة المستخدمة فى الإختبار كما فى المواصفات القياسية المصرية (رقم ٤٨/١٩٦٠).
- يجرى إختبار إستخلاص الأملاح الذائبة ويمكن تقدير نسبة كل من الكبريتات والماغنسيوم والكالسيوم وأكاسيد الحديد والألومنيوم وغيرها تبعا للطرق القياسية للتحليل الكيميائى.
- يجرى إختبار مقاومة الجسم للأحماض كما فى المواصفات القياسية المصرية (رقم ٤٨/١٩٦٠).

# الجزء الخامس

# تطوير مصانع الطوب الأحمر( القمائن )

## تطوير مصانع الطوب الأحمر (القمائن)

يجب العمل على نشر الطوب الطفلى كبديل للطوب الأحمر العادى، وذلك فى أماكن عديدة من جمهورية مصر العربية حيث تنتشر الطفلة، ويمكن لمصنع طوب طفلى يعمل آلياً أن يحل محل عدد من قمائن الطوب الأحمر مع كفاءة إنتاج عالية وجودة كبيرة للمنتج بالمقارنة مع الطوب الأحمر، بجانب التغلب على تجريف الأراضى الزراعية التى يُحَرِّمها القانون وتوفير البديل الذى يتجه إليه أصحاب المصانع والتغلب على فقد الأرض الصالحة للزراعة التى تفقد يوما بعد يوم فى حين تجرى عمليات إستصلاح لأراضى بور أو صحراوية تكلف كثيراً من الجهد والمال والوقت وقد تكون تلك الأراضى ملائمة لصناعة الطوب الطفلى اللازم لعمليات البناء والتشييد والتى تعطى معدلات إنتاج عالية تتفق مع الإنتاج الآلى أو النصف آلى كما تتفق مع الإحتياج الذى يزداد يوما بعد يوم.

**ويمكن أن نركز أهم مميزات الطوب الطفلى فيما يلى :**

١- أغلب الطوب الطفلى المصنوع آليا يكون مفرغاً أى تتخلله فراغات فى أشكال مختلفة يكون من مميزاتها الإسراع من عمليات التجفيف والحريق مع تقليل التعرض لعيوب كل من المرحلتين من شرخ أو إلتواء .

٢- تعمل الفراغات على إكتساب الطوبة لخواص العزل الحرارى وعزل الصوت.

٣- فى الطوب المصنوع ميكانيكياً بأبعاد أكبر من الطوب العادى (تبعا للمواصفات القياسية) يحتاج إلى كمية من الملاط (المونة) أقل من اللازم للطوب العادى حيث تحتاج المساحة من البناء إلى عدد أقل من (الطوب الطفلى) بإبعاد أكبر من الطوب العادى وبالمقارنة تقل مساحة المسطحات التى ترتبط بالمونة وتقل بالتالى الكمية اللازمة لذلك.

٤- تعمل الفراغات فى الطوبة على زيادة تماسك الطوب بالمونة.

٥- الطوب المفرغ المصنوع من الطفلة أقل وزنا من الطوب المصمت (حوالى ١,٨ كجم للطوب المفرغ و ٢,٥ كجم للطوب المصمت) كما يحتاج إلى كمية أقل من الطفلة مما يجعله إقتصاديا فى الخامة وبالتالى يعطى إنتاج أكثر.

٦- من مميزات الطوب المفرغ الإقتصاد فى الوقت اللازم للتجفيف والحريق الآمن وتجنب العيوب.

٧- الطوب المصنوع ميكانيكياً يتميز بقوة تحمل للضغط أكبر من الطوب العادى المصنوع يدوياً بما يزيد عن خمسة أضعاف.

- من الطوب المصنوع ميكانيكياً بمتوسط (٢٥٠-١٥٠) كجم/سم٢.
- من الطوب المصنوع يدوياً بمتوسط (٥٥-٣٥) كجم/سم٢.

## لذلك يجب العمل على

تطوير قمائن الطوب الأحمر المصنوع يدوياً بحيث تستخدم الطفلة فى الصناعة بدلاً من التربة الزراعية وكذلك تحويلة إلى صناعة آلية كلما أمكن ذلك.

- ويمكن بدء التطوير لتحسين كفاءة الإنتاج اليدوى بالنقل الآلى للطفلة المعدة للتشكيل إلى مناضد التشكيل مما يوفر الوقت والجهد مثل إستخدام السيور الناقلة، وكذلك بعد التشكيل فى نقل الطوب إلى أماكن التجفيف.
- ثم يمكن التطوير فى إستخدام ماكينة التشكيل بالبثق والتى تعطى كفاءة إنتاج عالية.
- كما يمكن أن تقام مصانع لتجهيز الطفلة لتشكيل وإمداد قماش الطوب بها لتحل محل طينات التربة الزراعية التى تستخدمها تلك القمائن وتكون جاهزة للتشكيل المباشر، مع توضيح ملاحظات التشكيل للمصنع والشروط الواجب إتباعها للتغلب على المشاكل الصناعية وعيوب الإنتاج بحيث تعطى كفاءة إنتاج مثالية عند إتباع تلك الملاحظات.
- يمكن أن تحضر تلك الطفلات فى أماكن إستخراجها بالطريقة الجافة أى الطحن والخلط الجاف أو أن تعد بالطريقة الرطبة بإضافة ماء إليها أثناء الطحن والخلط الجيد ثم تجفف وتطحن بالنعومة المطلوبة، وتعبأ بعد ذلك فى عبوات أو جوالات تصدر مباشرة إلى مصانع الطوب (القمائن) لإستخدامها بدلاً من التربة الزراعية.
- بعد ذلك يمكن تطوير أجهزة ومعدات التشكيل والتجفيف والحريق فى مصانع الطوب المعدة فعلاً بحيث تعطى كفاءة إنتاج أعلى.
- ويحتاج هذا إلى رعاية من الدولة لإقامة مصانع جديدة للطوب الطفلى، وإعداد الطفلة للمصانع الصغيرة والتى تعمل بالتشكيل اليدوى، وتشجيع المستثمرين للدخول فى تلك الصناعة، وتذليل الصعوبات التى تتعرض لها تلك الصناعة، وإعطاء التسهيلات لتطوير المصانع عن طريق القروض التى توفرها الدولة لأصحاب تلك المصانع بسعر فائدة ملائمة مما يشجع أصحاب رؤوس الأموال لإستثمار أموالهم فى مجال صناعة الطوب الطفلى الذى يزيد الإحتياج إليه يوما بعد يوم مع زيادة المشاريع الإسكانية والعمرانية، كذلك توفير الطاقة والوقود اللازم بتكلفة ملائمة والتى تتدخل فى رفع سعر الطوب للمستهلك مما يوجه المصانع لإنتاج الطوب الأحمر من التربة الزراعية.

## مقارنات للعمالة وتكاليف مراحل الإنتاج فى كل من الطريقة اليدوية والتشكيل بالبثق

جدول رقم (٨) : الحرارة اللازمة للتجفيف (وحدة حرارية بريطانية/ رطل من الماء المتبخر)

| | الحد الأدنى | الحد الأقصى |
|---|---|---|
| حرارة يكتسبها الطوب الساخن والأرفف وغيرها | ٣٤٠ | ٣٤٠ |
| حرارة مفقودة من بناء المجفف | ٢٠٠ | ١,٠٠٠ |
| حرارة متبقية فى الهواء العادم | ٥٠٠ | ١,٥٠٠ |
| حرارة تلزم لتبخير رطل من الماء | ١,٠٥٠ | ١,٠٥٠ |
| المجموع | ٢,٠٩٠ | ٣,٨٩٠ |
| النسبة المئوية للكفاءة الحرارية | ٥٠ | ٢٧ |

جدول رقم (٩) : العمالة للطريقة اليدوية فى صناعة الطوب (إنتاج ١٠,٠٠٠ طوبة/ أسبوع)

| | رجل | ساعة/أسبوع | ساعة/رجل/١,٠٠٠ طوبة |
|---|---|---|---|
| إعداد الطفلة مع الرمل | ١ | ٤٠ | ٤ |
| تشكيل (١,٠٠٠ طوبة/رجل/يوم) | ٢ | ٨٠ | ٨ |
| تشطيب ورص وتفريغ وشحن | ٢ | ٨٠ | ٨ |
| المجموع | ٥ | ٢٠٠ | ٢٠ |

**جدول رقم (١٠) : العمالة اللازمة فى صناعة الطوب بطريقة البثق (قطع سلك)**

**إنتاج ١٠٠,٠٠٠ طوبة/أسبوع (فرن هوفمان)**

| | مجفف الأرفف الساخنة | | مجفف نفقى | |
|---|---|---|---|---|
| | رجل | ساعة/رجل/١,٠٠٠ طوبة | رجل | ساعة/رجل/١,٠٠٠ طوبة |
| استخراج خامات ونقل يدوى بالعربات | ١٥ | ٦,٠ | – | – |
| حفار ميكانيكى ونقل بالعربات | – | – | ٢ | ٠,٨ |
| طاحونة الرحى | ١ | ٠,٤ | ١ | ٠,٤ |
| ماكينة البثق | ٢ | ٠,٨ | ٢ | ٠,٨ |
| نقل المنتج إلى مجففات الأرفف الساخنة والرص | ٥ | ٢,٠ | – | – |
| نقل من المجفف إلى الفرن | ٣ | ١,٢ | – | – |
| المجفف النفقى | – | – | ٥ | ٢,٠ |
| الرص | ٣ | ١,٢ | ٣ | ١,٢ |
| الحريق | ٣ | ١,٧ | ٣ | ١,٧ |
| تفريغ المنتج | ٣ | ١,٢ | ٣ | ١,٢ |
| المجموع | ٣٥ | ١٤,٥ | ١٩ | ٨,١ |

جدول رقم (١١) : تكلفة مراحل الإنتاج (فى نسبة مئوية للتكلفة الكلية

| | طريقة يدوية | طريقة البثق |
|---|---|---|
| استخراج الخامات والنقل | ٣,٣ | ٨,٠ |
| إعداد المواد الخام | ٦,٩ | ٠,٥ |
| تشكيل وتجفيف | ٢٧,٥ | ١٢,٢ |
| وقود وطاقة | ١٠,٣ | ١٧,٣ |
| التكلفة الإجمالية للإعداد قبل الحريق | ٤٨,٠ | ٣٨,٠ |
| عمليات شحن وتفريغ وحريق | | |
| عماله | ٩,١ | ٢١,٤ |
| وقود | ٥,٩ | ١٦,٦ |
| التكلفة الإجمالية | ١٥,٠ | ٣٨,٠ |
| نفقات عامة (غير مباشرة) | ٣٧,٠ | ٢٤,٠ |
| المجموع الكلى | ١٠٠ | ١٠٠ |

جدول رقم (١٢):العمالة لعمليات صناعة الطوب فى مقارنة بين

الطريقة اليدوية والتشكيل بالبثق

| | إنتاج/أسبوع | العمالة رجل | ساعة/رجل/١,٠٠٠ طوبة |
|---|---|---|---|
| الطريقة ا ليدوية | ١٠٠,٠٠٠ | ٣٣ | ١٤,١ |
| طريقة البثق | | | |
| غير مفرغ الهواء حريق هوفمان | ١٦٠,٠٠٠ | ١٧ | ٤,٦ |
| غير مفرغ الهواء – حريق هوفمان | ١٠٠,٠٠٠ | ١٣ | ٥,٧ |
| مفرغ الهواء – حريق فرن نفقى | ١٦٠,٠٠٠ | ١٥ | ٤,١ |

# المراجع العربية


١- الخامات المصرية المستعملة فى صناعة الأدوات الصحية والبلاط القيشانى. الشركة العامة لمنتجات الخزف والصينى، القاهرة.

٢- المواصفات القياسية المصرية. وزارة الصناعة، الهيئة المصرية للتوحيد القياسى، القاهرة، ١٩٦٠.

٣- النشاط التعدينى فى جمهورية مصر العربية. وزارة الصناعة والثروة المعدنية — الهيئة المصرية العامة للمساحة الجيولوجية والمشروعات التعدينيه. (مجموعة الكتيبات الإعلامية)، ا لقاهرة.

٤- محمد رامز وحسن فهمى إمام. بدائل طمى النيل، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا، القاهرة، ١٩٧٤.

٥- محمد عز الدين حلمى. علم المعادن. مكتبة الأنجلو، القاهرة، ١٩٦٤.


# المراجع الأجنبية


1- **ASTM standars**, Part 17, Published by Am. Cer. Soc. For Testing and Materials, Philadelphia, 1975.

2- Avenhaus, W., "Problems in Drying Heavy Clay Products, "**Brit. Cer. Abs**. Vol. 55A, 152A, 1956.

3- **Brickmaking Plant: Industry Profile**, United Nations Industrial Development Organization, Vienna, new York, 1978.

4- Butterworthe, B., & Foster, D., "The Development of the Firedearth Brick", **Trans. Brit. Cer. Soc.** 55, 457, 481, 1956.

5- **Ibid** 58(2) 58(2) 63, 1959.

6- Diettrich, H., "Methods of Shaping Heavy – Clay Bodies", **Interceram,** No. 2, 1970.

7- Embabi, H.K., et al., "Suitability of Some Egyptian Clays for the Manufacture of Building Bricks and Other Heavy-Clay products. "Refractories and Building Materials Lab., National Research Centre, Cairo, 1977.

8- Eustaccio, C., "New Methods of Automation-Stiff-Extrusion in Germany, "**Interceram,** No. 1, 1971.

9- Ford, F.W., "The Development of strains in Wire-cut Bricks", **Trans. Brit. Cer. Soc.**, 59 (2), 38, 1960.

10- Hamer, F., **Te Potter's Dictionary of Materials and techniques.** Pitman Publishing, London, 1975.

11- kingery, W.D., et al., **Introduction to Cermics,** 2nd ed. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York, London, 1967.

12- Komar, A., **Building Materials and Components,** Mir Publishers, Moscow, 1979.

13- Lingl, H., "Automatic Setting Machines and their Significance for the Heavy Clay Industry", **Interceram**, No. 2, 1970.

14- Macey, H., "Clay Water Relationships and the Internal Mechanism of Drying", **Trans. Brit. Cer. Soc.** 41, 73 1942.

15- Norton, F.H., **Fine Ceramics, Technology and Applications.** McGron-Hill Book Company, New York, 1970.

16- Ryu, N., **creative Ceramics,** Stodio Vista, England, 1974.

17- Singer, F., **Industrial Ceramics,** Chapman & Hell, Ltd., London, 1971.

18- **The Establishment of the Brick and Tile Industry in Developing Countries**, United Nations Industrial Development Organization Vienna, New York, 1969.